

Belastbarkeit und Trainierbarkeit im Volleyball unter besonderer Berücksichtigung der Fähigkeit zur stabilen Körperhaltung

Inaugural – Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

am

Fachbereich Erziehungswissenschaften
der Philipps-Universität Marburg/Lahn

vorgelegt von

Stephan Ellenberger

aus Rotenburg/ Fulda

Marburg/Lahn 2016

Originaldokument gespeichert auf dem Publikationsserver der
Philipps-Universität Marburg
<http://archiv.ub.uni-marburg.de>



Dieses Werk bzw. Inhalt steht unter einer
Creative Commons
Namensnennung
Nicht kommerziell
Keine Bearbeitungen 4.0 International Lizenz

Die vollständige Lizenz finden Sie unter:
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>

Vom Fachbereich Erziehungswissenschaften der Philipps-Universität Marburg

als Dissertation angenommen am: 05.08.2016

Abschluss der mündlichen Prüfung am: 09.06.2017

1. Gutachter:	Prof. Dr. med. Hans-Martin Sommer
2. Gutachter:	PD. Dr. phil. Gereon Berschin

**Für meinen Sohn Franz
und
meine Tochter Karla**

Leibesübung ist sehr richtig und fürs
Leben äußerst wichtig! Deshalb
strenge dich an, zeig dich als ge-
wandter Mann, neig' die Beine
etwas vor, heb ein wenig dich em-
por, daß ein kleiner Schwung dich
jetzt auf die andere Seite setzt.



Danksagung

Mein besonderer Dank richtet sich an Prof. Dr. Hans-Martin Sommer, der mich, nicht üblich als Lehramtsstudent, als Doktorvater betreute und mir immer mit einem guten Rat zur Seite stand. Des Weiteren möchte ich mich außerordentlich bei Dr. Gereon Berschin für die immer hilfreichen Gespräche bedanken, der mir während meiner gesamten Studie sowie bei meinen zahlreichen Fragen immer kompetent zur Seite.

Darüber hinaus möchte ich mich bei den Kadertrainern des Hessischen Volleyballverbands Ennio Giordani, Volkmar Hauf, Raimund Jeuck und Gerhard Löber für ihre exzellente Unterstützung während der gesamten Studie bedanke. Hier gilt in erster Linie Volkmar Hauf und Raimund Jeuck ein besonderer Dank für die unzähligen inspirierenden Gespräche auf und neben dem Volleyballfeld während der Lehrgänge an denen ich teilnehmen durfte. In diesem Zusammenhang möchte ich auch all den Kaderathleten der Jahrgänge 93/94, 94/95, 95/96 und 96/97 danken die an der Studie teilgenommen haben, ohne sie hätte diese Studie nicht stattfinden können.

Ferner möchte ich auch den vielen Helfern, die bei der Durchführung der Studie geholfen haben, an dieser Stelle danken. Vornehmlich möchte ich hier Christian Engel, Jonas Stroth, Patric Hahn, Lennert Görg und Martin Senk danken.

Mein besonderer Dank gilt den helfenden Händen von Annett Rusek. Sie war bei allen Untersuchungen und teilweise auch bei der Datenauswertung maßgeblich mit beteiligt.

Auch ohne die Mitarbeiter der Abteilung Medizin, Training und Gesundheit des Instituts für Sportwissenschaft und Motologie wäre die Durchführung der Studie nicht möglich gewesen. Hervorheben möchte ich speziell Henrike Fischer die mir inspirierend zur Seite stand in der Endphase dieser Arbeit.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen Korrekturlesern Renate Kern und David Gerlach die diese Arbeit sehr kritisch kontrolliert haben.

Abschließend möchte ich mich bei dem wichtigsten Menschen in meinem Leben bedanken – meiner Moni – sie hat mich während der Promotionsphase immer unterstützt und sehr viel Geduld mit mir in den schwierigen Phasen der Arbeit gehabt.

„Nur ein starker Rumpf macht einen starken Sportler!“

MEIER (2005/2007)

ehemaliger Physiotherapeut des DVV-Männer Teams

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	1
Inhaltsverzeichnis	3
1 Einleitung	6
2 Kennzeichen des leistungsorientierten Volleyballspiels.....	12
2.1 Charakteristika des Volleyballspiels	12
2.2 Beanspruchungsprofil der Sportart Volleyball	12
2.3 Belastungsprofil im Volleyball.....	13
2.3.1 Sprungbewegungen im Volleyball	16
2.3.2 Verschiedene Sprungformen im Volleyball	20
2.4 Spezifische körperliche Anforderungen im Volleyball	26
2.5 Traumatologie von Kindern und Jugendlichen im Volleyball	29
3 Einnahme und Aufrechterhaltung einer stabilen Körperhaltung	31
3.1 Körperhaltung und Stabilität	31
3.1.1 Körperhaltung.....	31
3.1.2 Stabilität.....	32
3.1.3 Rumpfstabilität und Sport – Haltungskontrolle.....	36
3.1.4 Rumpfstabilität speziell beim Lauf und Sprung.....	37
3.1.5 Muskuläre Balance und Dysbalancen	39
3.2 Haltungstraining	43
3.2.1 Training der Muskelkraft.....	45
3.2.2 Veränderungen der Muskelkraft durch Krafttraining.....	47
3.3 Konzeptionsgrundlagen	48
3.3.1 Förderliche Elemente eines Kraft- und Haltungstrainingskonzepts	48
3.3.2 Grundlage des Trainingskonzepts – Marburger Haltungsschule.....	51
3.3.3 Trainingskonzept	52
4 Belastbarkeit und Trainierbarkeit.....	71
4.1 Belastbarkeit der Haltungs- und Bewegungsorgane.....	75
4.2 Trainierbarkeit und Belastbarkeit bei Nachwuchsathleten.....	78
4.3 Grenzen von Trainierbarkeit und Belastbarkeit	81
4.4 Belastungssicherung im Volleyballnachwuchsbereich	82
5 Forschungsmotiv – Begründung der Arbeit	85

6	Methodik	88
6.1	Untersuchungsziel	88
6.2	Fragestellung	88
6.2.1	Fundierung der Fragestellung.....	89
6.2.2	Fragestellung und Arbeitshypothesen	90
6.3	Methodisches Vorgehen	92
6.3.1	Untersuchungskollektiv	92
6.3.2	Quantitative Datenerhebung.....	94
6.3.3	Counter Movement Jump	95
6.3.4	diagonaler Angriffsschlag	99
6.3.5	Bauchmuskelttest - Abdominometrie	104
6.3.6	Qualitative Datenerhebung.....	108
7	Ergebnisse	112
7.1	Abdominometrie – Rumpfkraftmessung	112
7.2	Dynamische Analyse des Counter Movement Jumps	114
7.2.1	Sprunghöhe.....	115
7.2.2	Steifigkeit des aktiven Bewegungssystems (Stiffness)	117
7.2.3	Verlauf des Kraftangriffs.....	120
7.3	Videoanalyse Counter Movement Jump	126
7.4	Videoanalyse des diagonalen Angriffsschlag.....	129
7.5	Ergebnisse der Befragung.....	131
7.5.1	Trainingsprotokoll	131
7.5.2	Gesundheitszustand	132
7.5.3	Einschätzung des Nutzens bzw. der Wirksamkeit.....	132
8	Diskussion.....	136
8.1	Diskussion der Untersuchungsmethoden	136
8.1.1	Rumpfkrafttest	136
8.1.2	Qualitative Bewegungsanalyse.....	137
8.1.3	Begründung des Interventionskonzepts.....	138
8.2	Ergebnis- und Hypothesendiskussion.....	141
8.2.1	Optimierung der Sprungqualität	141
8.2.2	Verbesserung der Sprungfähigkeit	147
8.2.3	Reduzierung der Ausweichbewegungen	150
8.2.4	Entwicklung des Landeverhaltens	155
8.2.5	Zunahme der Rumpfmuskelkraft.....	160
9	Zusammenfassung und Fazit.....	166
	Literaturverzeichnis	170

Anhang	195
Anhang 1: Fragebogen	195
Anhang 2: Evaluationsbogen	197
Anhang 3: Auswertung Evaluationsbogen (grafisch)	198
Anhang 4: Trainingsprotokoll	201
Anhang 5: Anthropometrische Daten/Körperfettanalyse	202
Anhang 6: Abbildungsverzeichnis	203
Anhang 7: Tabellenverzeichnis	206
Erklärung	207

1 Einleitung

Die weltweite Faszination des Volleyballsports lässt sich durch die sportartspezifische Charakteristika des Spiels erklären. Im Spiel werden hohe athletische, technische und taktische Anforderungen an die Sportler gestellt. Diese hohe Komplexität des Volleyballspiels begründet einen hohen Trainingsumfang mit entsprechend hoher Intensität (vgl. MILTNER 2010).

Für das Spiel an sich sind Sprunghandlungen von großer Relevanz. Dabei liegt die Wichtigkeit, wie PAPAGEORGIOU & HUMMERBRUM (1987) Ende der 1980er bereits nachgewiesen haben, auf den Block- und Angriffsaktionen am Netz. Generell liegt die Bedeutsamkeit bei allen Sprüngen darauf, eine möglichst hohe Handlungshöhe zu erreichen. Allerdings korreliert, aus sportmedizinischer Sicht, eine Maximierung der Sprunghöhe oft mit einer Erhöhung des Verletzungsrisikos, denn die schwächsten Glieder in der Muskel- und Bandapparatur entscheiden über eine optimale Ausführung des Sprunges und die Verarbeitung der von außen wirkenden Kräfte. Es wird folglich gefordert diese schwachen Systemstellen zu stärken, um das Auftreten einer Verletzung zu verhindern (vgl. HENNE 1999).

„Vertical jumping is a complex multi-joint movement, common to many sport activities, which requires optimal muscle coordination obtained through the relevant skill development“ (MASCI ET AL. 2010, S. 444).

In diesem Betrachtungszusammenhang weist Volleyball enorme Anforderungen an die Sprungkraft und die damit verbundenen Bewegungen auf. Die Fähigkeit beidbeinig hoch springen zu können, um anschließend in der Flugphase Angriffs- sowie Verteidigungsaktionen präzise und effektiv durchführen zu können, erfordert ein gut ausgeprägtes Stabilisierungsvermögen im Rumpf und den Extremitäten (vgl. HENNE 1999, SOMMER 1998). Ein Defizit in diesem Bereich äußert sich sowohl in einem reduzierten Leistungsvermögen, als auch in Ausweichbewegungen, die das Risiko von Überbelastungen (akute Sportverletzungen) bzw. chronischen Fehlbelastungen (Langzeitsportschäden) erhöhen. So besteht ein entsprechender Zusammenhang zwischen einer hohen Anzahl von Sprüngen und den dabei auftretenden Überbelastungen (vgl. KANNUS 1997, SCHAFLE ET AL. 1990, VOIGT & RICHTER 1991).

Es ist davon auszugehen, dass Rumpffehlhaltungen aus einem mangelnden Rumpfstabilisierungsvermögen resultieren und nicht nur morphologisch wahrnehmbar sind, sondern sich auch in einer reduzierten Belastbarkeit äußern (vgl. BERSCHIN 1999, MILTNER 2010, SOMMER 1987). Dieses Erkenntnis macht deutlich, wie wichtig eine adäquate Trainingssteuerung in diesem Bereich ist. In Bezug auf eine bestmögliche Trainierbarkeit sind die Bewegungen, die aus und mit einer nicht stabilen bzw. stabilisierten Rumpfhaltung erfolgen, als negativ und unökonomisch einzustufen, da sie mit einem mechanisch ungünstigen Wirkungsgrad verbunden sind. Gegenläufig zur Abnahme der Bewegungsqualität nimmt das bewegungsbedingte Schädigungspotential zu. Demzufolge kommt sowohl unter dem Aspekt von Leistungsoptimierung, wie auch im Hinblick auf Verletzungsprophylaxe, der Bewegungsqualität und somit auch dem Rumpfstabilisierungsvermögen eine besondere Bedeutung im Rahmen des Trainings zu (vgl. SOMMER 1987). SOMMER (1998) geht davon aus, dass eine verbesserte Körperkontrolle durch eine bessere Körperhaltung eintritt. Folgernd daraus müssen auch die im Volleyball auftretenden Kräfte, welche eine enorme Belastung für den Haltungs- und Bewegungsapparat darstellen, durch ein gezieltes, qualitativ hochwertiges Training unter besonderer Berücksichtigung der Belastbarkeit des Haltungs- und Bewegungsapparates reduziert werden.

Diese Erkenntnisse machen es notwendig, besonders auf die Belastbarkeit und Trainierbarkeit im Kindes- und Jugendalter den Fokus zu rücken. Folgerichtig sollte schon hier dem Erhalt oder der Herstellung einer suffizienten muskelgesteuerten Stabilität des Haltungs- und Bewegungssystems höchste Priorität zugesprochen werden. Denn gerade in der Phase der Pubertät wirken auf junge Menschen, welche Leistungssport betreiben, enorme Kräfte ein. Daher ist es erforderlich, dass Kinder und Jugendliche aufgrund stetiger körperlicher Entwicklung, diesen Kräften adäquat entgegenwirken können, um ihr volles Leistungspotential abrufen zu können und nicht in den Bereich von Fehlbelastungen hineinzuarbeiten. Entsprechende Erkenntnisse und Einsichten führen häufig dazu, dass der Behebung von muskulären Dysbalancen zunehmend Rechnung getragen wird (vgl. BRUHN 2006, JAHNSEN 2001, SOMMER & ROHRSCHEIDT 1988).

Diesbezüglich gab es in den letzten Jahren deutliche Entwicklungen im Bereich der Trainingswissenschaft hinsichtlich Aufbau und Planung von Trainingseinheiten im Kindes- und Jugendalter sowie im Erwachsenenbereich. Allerdings kommen vorwiegend die modernsten Trainingsmethoden den Leistungssportlern zu gute, lediglich der verletzungsprophylaktische Aspekt dringt zunehmend in den Amateurbereich vor (vgl.

MOHAMED AHMED 2006). In diesem Zusammenhang wird allerdings nur ein Training das die Haltungs- und Bewegungsausgaben eines sensomotorischen Trainings proklamiert als Intervention vorgeschoben.

„Adäquate Interventionen müssen ganzheitlich den Defiziten der Haltungs- und Bewegungskoordination begegnen und zur Verbesserung von Kontroll- und Regulationsmechanismen genau an diesen und nicht an Haltungs- und Bewegungsausgaben, die den unfunktionellen Gebrauch des sensomotorischen Systems nach außen sichtbar machen, ansetzen“ (FISCHER 2010, S.8).

Die Trainingsintervention der vorliegenden Arbeit verwendet genau diese von FISCHER (2010) als wichtig erachteten Elemente. Die Frage ist, welche leistungsrelevanten Aspekte durch eine Etablierung eines, das normale Training begleitende, Stabilitätstraining (Kraft- und Haltungstraining) ausgelöst werden. Daran anknüpfend soll ein praktikables und universell anwendbares Trainingskonzept entwickelt werden, mit dem möglichst viele Sportler erreicht und in ihrem optimalen Belastungsbereich gefördert werden. Das Hauptziel dieser Arbeit ist allerdings zu überprüfen, ob eine solche Leistungsverbesserung im Volleyball durch Verbesserung der Stabilisierungsfähigkeit bzw. eine Optimierung der Körperhaltung ausgelöst werden kann. Die Anwendbarkeit sowie die Wirksamkeit dieses Konzeptes soll mit Spielerinnen und Spielern des hessischen Volleyball Nachwuchskaders empirisch überprüft werden.

Kapitel zwei umfasst die Merkmale des leistungsorientierten Volleyballspiels. Zur Annäherung an diese Sportart und an ihre spezifischen Anforderungen im Zusammenhang mit dem Thema der vorliegenden Arbeit werden als Grundlagen das Beanspruchungsprofil (Kap.2.2) und das Belastungsprofil (Kap.2.3) dargestellt. In Bezug auf das volleyballspezifische Belastungsprofil werden in einem nächsten Arbeitsschritt Sprungbewegungen und deren verschiedene Variationen aufgezeigt (Kap. 2.3.1/2.3.2), in denen Belastungsspitzen ersichtlich sind und welche bereits auf Bewegungsdefizite hinweisen. Die Wichtigkeit der Belastungen, welche zu muskulären Dysbalancen führen, dieser Sportart in der Trainingssteuerung Rechnung zu tragen wird genauer beleuchtet und ist in Kapitel 2.4 durch Grundlagen spezifischer Anforderungen an Volleyballspieler hinsichtlich dem Landeverhalten und der Kräfteeinwirkung aufgezeigt. Im Fokus steht die Traumatologie von Kindern und Jugendlichen im Volleyball, welche maßgeblich auf zu hohe Trainingsbelastung und unphysiologisches Training zurückzuführen ist (Kap.2.5).

Inwiefern die Einnahme und Aufrechterhaltung einer stabilen Körperhaltung eine wesentliche Rolle zur Vermeidung muskulärer Dysbalancen spielt, beschreibt das **dritte**

Kapitel. Erforderlich ist hierbei zunächst ein Verständnis von dynamischer und statischer Körperhaltung (Kap.3.1.1) sowie dem Zusammenwirken von synergistischen und antagonistischen Muskelgruppen für Stabilität (Kap.3.1.2), welche maßgeblich über die Aufrichtung des Beckens im Gleichgewicht gehalten wird (Kap.3.1.2.2). Insbesondere wird auf die Rumpfstabilität im Sport eingegangen, speziell auf die Rumpfkraft in Bezug auf ihre Auswirkung in der Bewegung, wobei der Schwerpunkt hier auf der Entstehung muskulärer Dysbalancen liegt (3.1.5). Die Grundgedanken eines Haltungstrainings (Kap.3.2) und dessen positive Auswirkungen auf den Bewegungsapparat, Leistungssteigerung und Bewegungsqualität weisen bereits auf einen positiven Einfluss hin. Bestätigende Elemente eines Kraft- und Haltungstrainings finden sich Kapitel 3.3. Die Marburger Haltungsschule nach SOMMER ET AL. 1987 bildet die Basis für das erarbeitete Trainingskonzept, welches speziell auf die Sportart Volleyball modifiziert wurde. Anhand dieser Trainingsinterventionen soll später überprüft werden, ob eine Leistungssteigerung erzielt werden kann.

Die Veranschaulichung von Belastbarkeit und Trainierbarkeit im **vierten Kapitel** ist im Kontext dieser Arbeit und der Forschungsidee (s. Kap.5) bedeutsam. Die wichtigsten Aspekte im Zusammenhang von Training, Belastung und der daraus resultierenden Leistungsfähigkeit werden beschrieben und anhand eines Modells, das von FRÖHNER (1993) entwickelt und von MARTIN & NIKOLAUS (1998) erweitert wurde in Bezug auf von innen und von außen auf den Organismus wirkenden Parameter manifestiert. Um zu überprüfen in wie fern bzw. wodurch es bei High Impact Sportarten zu Schädigungen durch falsche Belastung kommt und wie sich derartige Defizite auf den Haltungs- und Bewegungsapparat auswirken, beschreibt Kapitel 4.1. Es dient dazu, den Sinn und die Motivation dieser Arbeit besser zu verstehen und einzuordnen und gilt als ein Grundgedanke zur Veränderung derzeitiger Trainingsformen, vor allem im Nachwuchsbereich. Im Blickwinkel auf die Fragestellung, stellt das Kapitel 4.2 vor, welche Bedeutung Trainierbarkeit und Belastbarkeit im Kindes- und Jugendalter zukommt und welche Folgen Überbeanspruchung im Zusammenhang mit Wachstum und Entwicklung hat. Dass Grenzen von Trainierbarkeit und Belastbarkeit vorhanden sind (Kap.4.3) und wie diesen Grenzen entgegengewirkt werden kann, werden final Maßnahmen und Möglichkeiten dargestellt, um eine Belastungssicherung im Volleyballnachwuchsbereich, v.a. in Anlehnung an SOMMER (1987) und FRÖHNER 2007 (Kap. 4.4), zu gewährleisten.

Nach Ausführung theoretischer Grundlagen, erfolgt an dieser Stelle der Übergang zum **fünften Kapitel** mit Darstellung der Forschungsidee und der Begründung der vorliegenden Arbeit.

Anknüpfend an die Ausführungen der theoretischen Grundlagen und die Beschreibung der Forschungsidee und ihrer Leitgedanken hin zur Untersuchung, beschäftigt sich das **sechste Kapitel** mit der Formulierung des Untersuchungsziels (Kap.6.1), der Fragestellung und ihrer Hypothesen (Kap.6.2.) - vorrangig auf der Basis und stetigen Präsenzgedenken, dass eine enge Korrelation zwischen der Rumpfhaltung und der Gliedmaßenbewegung existiert und folgerichtig eine Verbesserung der Gliedmaßenbewegung nur über eine Verbesserung der Rumpfhaltung zu erreichen ist (vgl. SOMMER 2010). Nach dem Aufstellen der Forschungshypothesen, wird das methodische Vorgehen erläutert (Kap.6.3). Eine ausführliche Darbietung der durchgeführten Tests mit Probanden aus dem Hessischen Volleyballkader im Nachwuchsbereich und der Vorgehensweise der Testauswertung (quantitative Untersuchung) füllt die Methodik dieser Arbeit und schließt sie letztendlich mit einem qualitativen Teil der Untersuchung ab.

Die Ergebnisse der Untersuchung füllen das **siebte Kapitel**. Durch die Abdominometrie (Kap.7.1) werden Rückschlüsse auf die Entwicklung der Rumpfmuskulatur ermittelt. Im Folgendem Kapitel 7.2 wird überprüft in wieweit diese Entwicklung sich auch auf die anderen gemessenen Parameter wie Sprunghöhe (Kap. 7.2.1), Stiffness (Kap. 7.2.2) und den Verlauf des Kraftangriffs auswirkt. Anhand der Videoanalyse wird geprüft, ob eine Bestätigung der Qualitätszunahme durch eine verbesserte Körperhaltung zu verzeichnen ist (Kap. 7.3/7.4). Abschließend werden die Ergebnisse der qualitativen Erhebung angeführt (Kap. 7.5). In diesem Zusammenhang wird die Wirksamkeit bzw. das Nutzen eines solchen Kraft- und Haltungstrainings zusätzlich überprüft (Kap. 7.5.3).

Nach der Darstellung der Ergebnisse werden diese im **achten Kapitel** diskutiert. Das Kapitel gliedert sich in zwei Hauptabschnitte, zum einen in die Diskussion des Untersuchungsdesigns (Kap. 8.1) und zum anderen in die Ergebnis- und Hypothesendiskussion (Kap. 8.2). Eingangs werden die Rumpfkraftuntersuchung (Kap. 8.1.1), die Qualitative Bewegungsanalyse (Kap. 8.1.2) und die Begründung des Interventionsansatzes (Kap. 8.1.3) hinsichtlich ihrer Durchführbarkeit und Wirksamkeit noch einmal genauer beleuchtet, um in diesem Zusammenhang mögliche Schwachstellen dieser Methodik aufzudecken. In der anschließenden Ergebnisdiskussion wird in Kapitel 8.2.1 die Optimierung der Sprungqualität mittels der Videoanalyse anhand der Sprungkriterien dargelegt.

Der leistungssteigernde Faktor, dargestellt durch die Sprunghöhe, wird in Kapitel 8.2.2 unter Berücksichtigung der Einnahme einer stabilen Körperhaltung und deren Auswirkungen diskutiert. Weiter werden in den beiden folgenden Kapiteln die Auswirkungen der Trainingsintervention auf die Ausweichbewegungen (Kap. 8.2.3) und das Landeverhalten (Kap. 8.2.4) behandelt sowie deren spezifische Wirkung im Kontext einer stabilen Körperhaltung. Abschließend liegt das Hauptaugenmerk auf der Interpretation und Begutachtung der Rumpfkraftzunahme (Kap. 8.2.5) und deren Einfluss auf eine optimale Körperhaltung.

Das *neunte Kapitel* fasst die Ergebnisse der Untersuchung und der Diskussion noch einmal im Hinblick auf die Fragestellung zusammen und beschreibt, inwiefern die resultierenden Ergebnisse die Wirksamkeit, u.a. im Vergleich der Versuchsgruppe zur Kontrollgruppe, belegen. Es wird verdeutlicht, warum und das sich das Trainingskonzept den aus den theoretischen Grundlagen entwickelten Forderungen an ein integrierbare und wirkungsvolle Trainingsintervention als wirkungsvoll in Bezug auf eine Leistungssteigerung und eine Verletzungsprophylaxe erwiesen hat. Weiter wird noch einmal auf die Wichtigkeit einer solchen Trainingsintervention geblickt und hervorgehoben, welchen Nutzen sie für den Breitensport mit sich bringt sowie wie wichtig Prävention in diesem Zusammenhang ist. Skizziert wird, inwiefern die Trainingsinterventionen in Zukunft ihre Einbettung in diesem Bereich und anderen Sportarten finden oder sich sogar im Profibereich etablieren; wobei Letzteres nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung ist, aber für weitere Forschungen offen steht.

Hinweis:

Zur Vereinfachung wird diese Arbeit ausschließlich in maskuliner Form der Anrede benutzt. Dies geschieht völlig wertfrei und schließt selbstverständlich die feminine Form mit ein.

2 Kennzeichen des leistungsorientierten Volleyballspiels

2.1 Charakteristika des Volleyballspiels

Volleyball ist ein Sportspiel, bei dem der direkte Körperkontakt zum Gegenspieler durch ein Netz, welches die beiden Spielfeldhälften trennt, verhindert wird. Obwohl die Spieler nur auf ihren Spielfeldhälften agieren können, ergibt sich eine äußerst schnelle Ballsportart, welche den Spielern eine hohe Laufbereitschaft und eine gute Sprungfähigkeit abverlangt. Volleyball ist daher keineswegs nur ein Standspiel für höhere Semester (vgl. KITTEL 1998).

„Schach mit über 100 km/h“ (KOBEL 2007), diese interessante Betrachtung des Spiels ist nicht weit von der Realität entfernt. Dazu müssen auf der koordinativen (technischen) Seite des Spiels sechs Elemente – Pass, Annahme, Service, Verteidigung sowie Block und Angriff – beherrscht werden, um Regelkonform zu spielen (vgl. KOBEL 2007).

Leistungsrelevante Faktoren für die sportliche Leistung im Volleyball sind maßgeblich Körpergröße, Grundlagenausdauerfähigkeit, Koordinationsfähigkeit, technomotorische Fähigkeiten vor allem Raum-, Distanz- und Ballgefühl sowie kognitive Fähigkeiten wie Konzentration motorische Intelligenz und Lernfähigkeit wie Auffassungs-, Beobachtungs- und Analysevermögen (vgl. HAHN 1982).

Grundsätzlich gilt: Volleyballer brauchen eine stabile Grundtechnik in allen Spielelementen, ein hervorragendes Ballgefühl und artistische Ballkontrolle für ein möglichst breites Angriffs-, Zuspiel- und Verteidigungsrepertoire. Weiter brauchen sie gut ausgebildete koordinative Fähigkeiten im Bereich Rhythmus, Gleichgewicht, Reaktion, Orientierung und Antizipierung (vgl. KOBEL 2007).

2.2 Beanspruchungsprofil der Sportart Volleyball

Nach KOBEL (2007) ist das Anforderungsprofil eines Volleyballspielers nicht einfach zu erfüllen. Es kann allerdings über die für die Sportart wichtigen Parameter, über die nötigen körperlichen Voraussetzungen, des Trainingsaufwands pro Woche, konditionelle, motorische, taktische und mentale Fähigkeiten und ein den Leistungssport unterstützen-

des Umfeld, genau beschrieben werden. Die für einen Volleyballspieler relevante Muskulatur bei einer Sprung- und Schlagbewegung ist neben einer gut ausgebildeten und funktionsfähigen Muskulatur der unteren Extremitäten auch eine adäquat trainierte Rumpf- und Armmuskulatur. Es werden dabei vor allem die Armsenker (*M. pectoralis major* und *M. latissimus dorsi*) und Armstrecker (*M. biceps brachii*), aber auch die Rumpf- und Bauchmuskulatur sowie die Hüftbeuger genutzt (*M. iliopsoas*, *M. rectus femoris*, *M. tensor fasciae latae*).

Volleyball ist eine Sportart, die sich durch eine ausgesprochen hohe Reaktions- und Bewegungsschnelligkeit in einer relativ langen Belastungsdauer auszeichnet (vgl. FRÖHNER 2009). Dabei reihen sich schnelle zyklische und azyklische Belastungsphasen aneinander. Blitzschnelle Starts mit relativ kurzen, ständig variierenden Laufwegen (Kombination verschiedener Lauftechniken), ein- und beidbeinige Sprünge und Landungen, eine Vielzahl differenzierter Schlagbewegungen mit hohen Anforderungen an den situationsgerechten und präzisen Einsatz des technisch-taktischen Repertoires und das intensive Abwehrspiel, erfordern nicht nur eine gute körperliche Fitness (Schnelligkeit/ Schnellkraft), sondern vor allem auch eine anhaltende Konzentrationsausdauer (Antizipations-/ Reaktionsfähigkeit, koordinative Fähigkeiten) (vgl. FRÖHNER & TRONICK 2007). Das komplexe Anforderungsprofil erfordert in Bezug auf den Stütz- und Bewegungsapparat ein hohes Maß an Belastbarkeit. Permanent werden Reaktions- und Beschleunigungsschnelligkeit sowie Explosiv-, Start- und Schnellkraftfähigkeiten besonders den unteren Extremitäten abverlangt. Dabei ist eine überdurchschnittliche Propriozeptionsfähigkeit bei Bewegungen der Schulter-, Knie- und Sprunggelenke maßgebliche Grundvoraussetzung, um sich verletzungsfrei auf dem engen Bewegungsraum zu bewegen. Außerdem ist eine funktionelle Beweglichkeit der unteren Extremitäten sowie des Schultergürtels (vermehrte Außenrotationsfähigkeit des dominanten Arms) (vgl. SPOMEDIAL 2003, WANG & COCHRANE 2001 A, B, WATKINS 1997) bei volleyballspezifischen Bewegungen notwendig. Auch ein funktionelles Rumpfmuskelkorsett ist für eine optimale Bewegungsausführung äußerst wichtig.

2.3 Belastungsprofil im Volleyball

Die Belastungsstruktur im Volleyball ist durch zeitlich kurze Intervallbelastungen gekennzeichnet. Das Niveau der Ausdauer, der Kraft, der Schnelligkeit, der Beweglichkeit und der Koordination bestimmt wesentlich die sportliche Leistungsfähigkeit. Technik,

Taktik und Willenseigenschaften im Volleyball können nur effektiv umgesetzt werden, wenn die einzelnen Leistungsfaktoren entsprechend ausgebildet sind (vgl. PAPAGEORGIOU & SPITZLEY 2005, CHRISTMANN 1987).

„Einem Spieler nützt eine gute Schlagtechnik nur wenig, wenn er nicht hoch genug springt, um seine Schlagtechnik wirkungsvoll anzuwenden. Umgekehrt kann ein sprung- und schlagkräftiger Spieler ohne technische und taktische Voraussetzungen nicht einmal eine mittelmäßige Angriffsleistung erbringen“ (BEGOV 1981, S. 277).

Der Wechsel von Lauf-, Sprung-, Stoppbewegungen und vielen kleinen Richtungswechseln spielt eine wichtige Rolle (vgl. PAPAGEORGIOU & SPITZLEY 2005). Eine isometrische Haltearbeit ist besonders bei der Angriffs- und Blocksicherung relevant (vgl. BACCHINI 1990).

Nach CHRISTMANN (1987) ist die Kondition als Leistungsfaktor wesentlich von den Prozessen der Energiebereitstellung abhängig und allgemein in Kraft, Ausdauer, Schnelligkeit und ihre Subkategorien unterteilt. Für den Bereich der Sportart Volleyball ist es besonders wichtig, bestimmte motorische Grundeigenschaften zu trainieren (Abb. 1). Einen hohen Stellenwert nimmt die Schnelligkeit ein, hauptsächlich im Bewegungs- und Reaktionsbereich. Zudem sind noch Ausdauer, Gewandtheit im Sinne von koordinativen Fähigkeiten und Schnellkraft, diese v.a. bei Sprung- und Schlagbewegungen, von Bedeutung (vgl. PAPAGEORGIOU & SPITZLEY 2005).

BACCHINI (1990) schlüsselt die konditionellen Anforderungen an einen Volleyballspieler folgendermaßen auf:

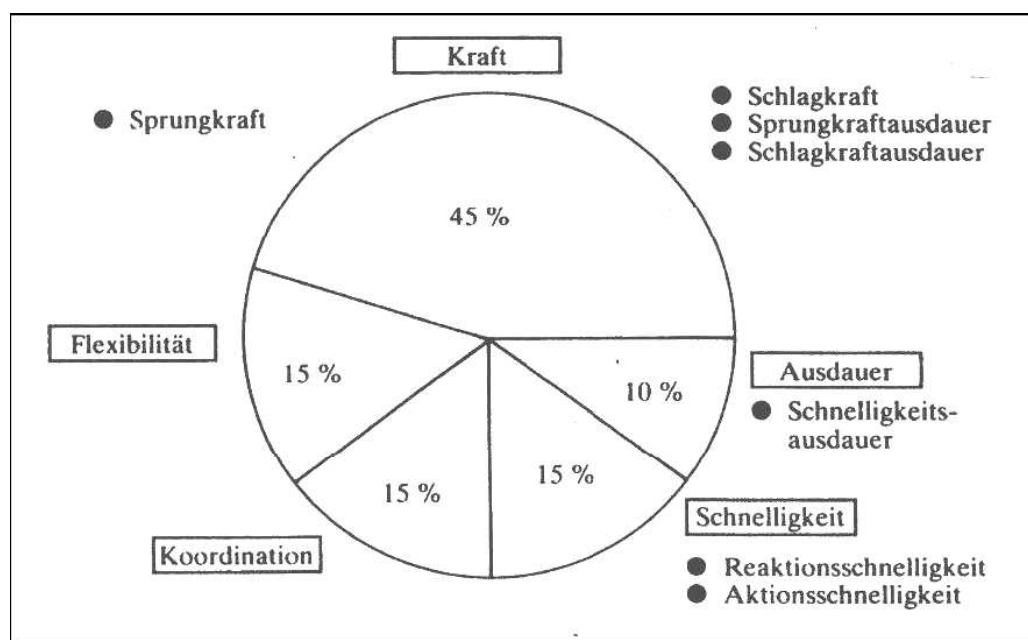


Abbildung 1: Konditionsfaktoren des Volleyballspielers (aus: BACCHINI 1990, S. 41).

Über die konditionellen Komponenten Kraft, Schnelligkeit, Ausdauer und Koordination existiert bereits eine Vielzahl an Literatur (vgl. u.a. WEINECK 2009). Die spezifischen Anforderungen im Volleyball können daraus abgeleitet werden. Dabei besteht die Aufgabe in einer systematischen Erweiterung der funktionellen Möglichkeiten des Organismus im Fokus (vgl. FIEDLER ET AL. 1975).

Die von BACCHINI (1990) beschriebenen Konditionsfaktoren eines Volleyballspielers stellen auch die Wichtigkeit einer Differenzierungsfähigkeit in Bezug auf die Körperspannung in den Vordergrund. Körperspannung spielt während verschiedener Aktionen im Volleyball eine enorm wichtige Rolle. Zum Beispiel muss die Kraft im Angriffsschlag am besten durch eine runde, lockere, aber trotzdem dynamische Armbewegung generiert werden. Andererseits muss die Körperspannung während der Blockbewegung für eine stabile Position in der Luft punktuell optimal aufrechterhalten werden können. Für eine optimale Technikumsetzung ist es essentiell eine sehr gute Körperspannung und somit Stabilität in den verschiedensten Positionen in der Luft und am Boden zu haben (vgl. KOBEL 2007).

Unter den konditionellen Eigenschaften stellt die Kraft eine besondere Größe dar (Abb. 1). MOHAMED AHMED (2006) beziffert den dominierenden Kraftfaktor mit 45 %. Dabei sind im Volleyball v.a. Schnellkraft und Schnellkraftausdauer als leistungsrelevante Erscheinungsformen der Kraft sowie die als eigenständige Kraftform angesehene Reaktivkraft (vgl. WEINECK 2009) von Bedeutung. Bei fast allen Bewegungen des Volleyballspielers muss nur der Widerstand des eigenen Körpergewichts und der des leichten Balles so schnell wie möglich und über die gesamte Spiellänge überwunden werden. Bei kurzzeitigen, intervallartig auftretenden, submaximalen bis maximalen und schnellen Krafteinsätzen, in Form von Sprung-, Schlag- und Laufbewegungen, wird die Kraftleistung durch kurzen Beschleunigungs- und Bremswegen bestimmt. Hinzu kommen schnellkräftige Armbewegungen im Angriff und Zuspiel sowie die statische Haltearbeit in der Angriffs- und Blocksicherung (vgl. BACCHINI 1990, STEINHÖFER 2003). Die dazu wichtigste Komponente ist die Kraft im Rumpfbereich. Sie ist als Bindeglied der Extremitäten nicht zu unterschätzen, denn um eine optimale Stabilisierung bei der Ausführung der technischen Elemente zu gewährleisten und um die Energie des Anlaufs in den Schlag umzusetzen, muss sie ausreichend trainiert sein (vgl. KOBEL 2007).

Des Weiteren stellt der Bereich der Sprungbewegungen verschiedene Kraftanforderungen an den Volleyballspieler, denn das allgemeine Spielkonzept hat als vorrangiges

Ziel, eine möglichst große Handlungshöhe zu erreichen (vgl. TILP 2004). Aus diesem Grund dominieren die Sprungbewegungen im Volleyball vor allen anderen Bewegungen. Vorwiegend müssen Angreifer hoch über dem Netz angreifen oder blocken. Zudem finden teilweise das Zuspiel und sogar der Service aus dem Sprung statt. Um eine bestmögliche Abschlaghöhe des Balles zu erreichen, ist es demzufolge für einen Volleyballspieler relevant, sehr schnell eine optimale Sprunghöhe zu erreichen. Dazu muss ein hoher Krafteinsatz beim Anlauf und Absprung erbracht werden, welcher während des gesamten Spiels ständig in kurzen Abständen wiederholt werden muss (vgl. BACCHINI 1990, STEINHÖFER 2003, TILP 2004). Im Folgenden werden die Sprungelemente als Kernstück dieser Arbeit gesondert hervorgehoben.

2.3.1 Sprungbewegungen im Volleyball

Verschiedene Studien zeigen, dass der Sprung eine zentrale Rolle innerhalb eines jeden Volleyballspiels eingenommen hat. So schätzen DIESSNER ET AL. (1985) und SCHAFLE ET AL. (1990) die Anzahl der Sprünge von Volleyballspielern eines höheren Leistungsniveaus auf mehr als 10.000 Sprünge pro Saison. Dabei spielt die Qualität des Sprungs für die Sprunghöhe eine entscheidende Rolle. Typisch für einen volleyballspezifischen Sprung ist ein beidbeiniger Absprung mit unterstützendem Armeinsatz, der zur gewünschten Sprunghöhe führen soll (vgl. CHRISTMANN & KRISPIN 1987). HINZ (1999) verweist auf die Bedeutung einer großen Sprunghöhe als wichtigste Zielgröße. Jeder Zugewinn an Sprunghöhe führt zu einer Verbesserung der Handlungshöhe im Angriff und Block und somit auch zu einer Qualitätssteigerung dieser Spielelemente (Abb. 2). Eine Optimierung der Handlungshöhe hat erhebliche positive Auswirkungen auf die Flugbahn und schließlich auch auf die Flugweite des Balles im Rahmen eines Angriffsschlages.

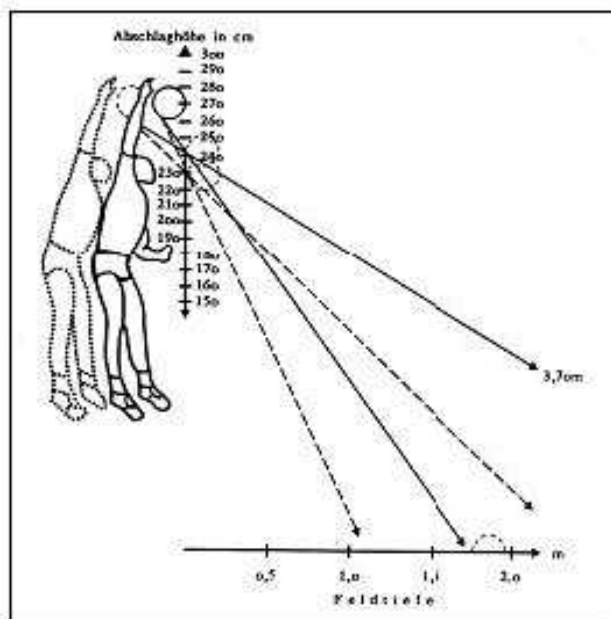


Abbildung 2: Der Einfluss von Abschlag- und Netzhöhe auf die Flugbahn und die Flugweite (aus: VOIGT 1986, S. 46). Die Abb. zeigt eine Untersuchung männlicher Sportstudenten und deren durchschnittliche Reichhöhe im Sprung nach dem Anlauf. Ist der Ball genau an die Netzkante gestellt und verfügt der Spieler über eine gute Handgelenksarbeit, kann er den Ball am höchsten Punkt treffen und ihn dicht hinter dem Netz Richtung Boden schlagen. Durch diesen steilen Winkel muss die gegnerische Mannschaft fast komplett das gesamte Feld abdecken, wodurch die Abwehr erschwert wird. Wird der Ball weiter entfernt vom Netz gestellt, verändern sich die Werte erheblich. Die Eindringtiefe liegt dann nicht mehr so nah hinter dem Netz, was zur Folge hat, dass sich der Angriffsraum verkleinert und dies die Abwehr erleichtert.

Betrachtet man die Sprunghöhen, die ein Volleyballer erreichen muss, wird deutlich, was er leisten muss, um den Sprung möglichst effektiv zu gestalten. Dabei wächst mit zunehmender Reichhöhe der Angriffsvorteil durch die gewonnene Aktionsfreiheit gegenüber dem Netz.

„Je höher ein Volleyballer springt, desto mehr Raum des gegnerischen Spielfeldes kann er für seinen Angriff nutzen und umso mehr wird die gegnerische Abwehr erschwert“ (VOIGT 1986, S. 46).

Es wird deutlich, dass der Volleyballspieler, umso höher er springt dementsprechend mehr Spielfeld zur Platzierung des Balles zur Verfügung hat. Deshalb ist für die Sprungkraft diesbezüglich auch eine entsprechende Kraftausdauer von entscheidender Bedeutung, um die Vielzahl an Sprüngen in einer gleich bleibenden Qualität zu absolvieren. Laut SCHOLL (1986) ist die Kraftausdauer jedoch nicht nur zur Vorbeugung eines Leistungsabfalls, sondern auch zur Prävention von Verletzung von äußerster Wichtigkeit, da der Spieler während eines Spiels, aber auch während des Trainings, eine Vielzahl von Sprüngen absolvieren muss. Untersuchungen zur Anzahl von Sprüngen im

Rahmen eines Fünf-Satz-Volleyballmatches einer Bundesligamannschaft haben gezeigt, dass ein Sportler dabei auf bis zu 200 Sprünge kommen kann (vgl. VOIGT 1986).

Im Folgenden werden einige, laut TILP (2004), wichtige Aspekte zur Biomechanik während eines Sprungs aufgeführt:

Die Realisierung einer möglichst optimalen Handlungshöhe ist nur durch Erhöhung des Körperschwerpunktes möglich. Der Sportler muss daher, durch Einsatz seiner Muskulatur, Kräfte (Bodenreaktionskräfte) (vgl. TILP 2004) entwickeln, die ihn beschleunigen und vom Boden abheben lassen. Erst wenn die Veränderung der Bodenreaktionskraft über die Aktivierung der Beinmuskulatur hinaus erfolgt, zum Beispiel durch andere Körperbewegungen wie den Armschwung, kann eine Beschleunigung des Körpers geschehen. Es kommt schließlich zu einem Anstieg der Vertikalgeschwindigkeit, die zu einer Veränderung des Körperschwerpunkts führt. Hierbei erlebt die Vertikalgeschwindigkeit vor dem Absprung ihr Maximum. Nach dem Absprung wirkt dann lediglich die konstante Erdbeschleunigung (Abb. 3) (vgl. TILP 2004).

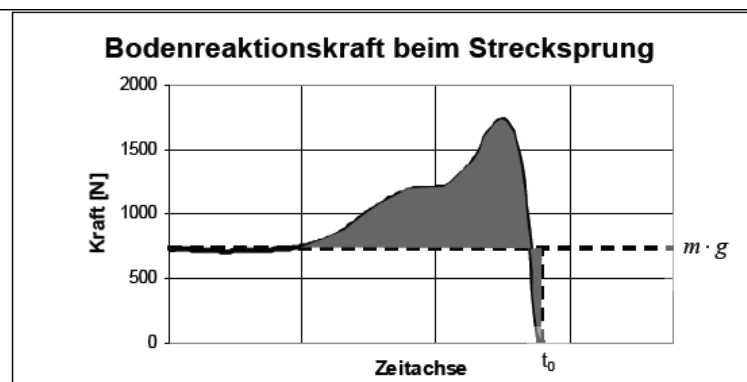


Abbildung 3: Bodenreaktionskraft während eines Strecksprungs (aus: TILP 2004, S.99). Die grau unterlegte Fläche oberhalb der horizontalen Linie beschreibt die positiv beschleunigende Bodenreaktionskraft, die unterhalb die negativ beschleunigende bis zum Zeitpunkt des Absprungs t_0 . m = Masse; g = Ortsfaktor.

Die dabei auftretende Kraft, die auf den Körper wirkt, ist um ein Vielfaches größer als das eigene Körpergewicht. Vor allem die bei der Landung nach Sprüngen auftretende Kraft zeigt einen besonders hohen Kraftverlauf an. Die bei der Landung entwickelte Bremskraft ist dabei abhängig von der Bremszeit. Es gilt: je geringer die Bremszeit, desto größer muss die Kraft sein, die dafür aufgebracht wird (vgl. STEINHÖFER 2003).

Die Kräfte, die während des Sprungs entwickelt werden sind unter anderem abhängig von der Arbeitsweise der Muskulatur. Bei Sprungbewegungen folgt eine konzentrische einer exzentrischen Bewegung, was allgemein auch als Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus

bekannt ist (vgl. TILP 2004). GOLLHOFER (2003) unterscheidet langsame und schnelle Dehnungs-Verkürzungs-Zyklen (Abb.4). Langsame laufen dabei in mehr als 200 ms, schnelle in weniger als 200 ms ab. Bei beiden Zyklen kommt es als Vorbereitung vor der exzentrischen Belastung zu einer Voraktivierung der Muskulatur, was eine kontrollierte Bewegung ermöglichen soll. Der schnelle Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus kann im Unterschied zum langsamen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus zusätzlich noch eine reflexgesteuerte Aktivierung der Muskulatur aufweisen. Diese wird über Gelenk- und Muskelrezeptoren gesteuert und führt zu einer erhöhten Steifigkeit des Gelenk- und Muskelapparates.

„Je `stiffer` bzw. kräftiger die Sehne bzw. die bindegewebigen muskulären Begeleitstrukturen, desto mehr Energie kann im Moment der exzentrischen Dehnung gespeichert und anschließend in der konzentrischen Phase freigesetzt bzw. weitergegeben werden“ (WEINECK 2009, S. 379).

Hinsichtlich des Sprungverhaltens kann die durch die erhöhte Aktivierung erreichte höhere Muskelkraft zu größeren Sprunghöhen führen. Des Weiteren besteht durch den kurzen Übergang (< 200 ms) von der exzentrischen zur konzentrischen Kontraktion die Möglichkeit, Energie in den elastischen Anteilen des Muskel-Sehnen-Apparates zu speichern (vgl. GOLLHOFER & BRUHN 2003, TILP 2004).

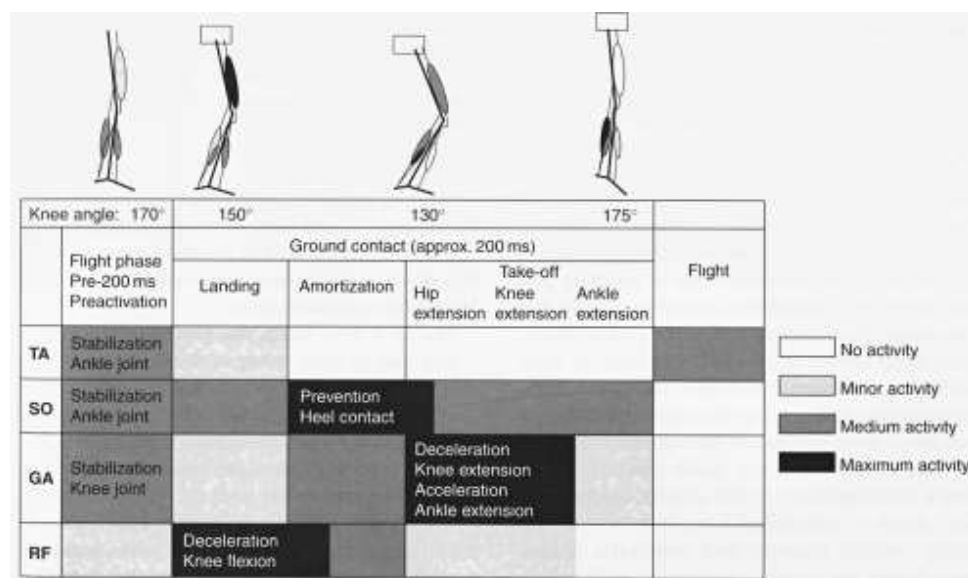


Abbildung 4: Darstellung eines Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (aus: GOLLHOFER & BRUHN 2003, S. 19).

Bei Sprüngen im Volleyball handelt es sich vorwiegend um Sprünge mit einem langen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus. Sie sind charakteristisch für Absprungbewegungen mit geringer horizontaler Geschwindigkeit, also Sprünge mit einer starken Kniebeugung.

Hierfür stellt die Maximalkraft einen Abhängigkeitsfaktor für die Reaktivkraft dar. Bei Sprüngen im kurzen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus tendiert die Abhängigkeit etwas mehr in Richtung Schnellkraft. Sie liegt vorwiegend während der Stützphase bei den Sprüngen vor (vgl. WEINECK 2009).

Der letzte wichtige Aspekt ist die Vollendung einer Sprungbewegung. Hierzu ist die Landephase so zu planen, dass die Folgehandlungen möglichst schnell ausgeführt werden können. Die Landung stellt dabei eine Phase höchster mechanischer Belastung für den Stütz- und Bewegungsapparat dar. Besonders hohe Stoßbelastungen wirken dabei auf die Wirbelsäule sowie die Knie- und Sprunggelenke. Um Schädigungen in diesen Bereiche entgegenzuwirken, muss eine gute Sprungkraftausdauer ausgebildet werden. Sie dient der Verminderung einer frühzeitigen Erschöpfung und damit einhergehender Verletzungsgefahr bei einem mehrstündigen Spiel (vgl. CHRISTMANN 1987A, VAN HUSEN 2005).

2.3.2 Verschiedene Sprungformen im Volleyball

Im Volleyball werden Sprungbewegungen nur selten aus einer Ruheposition heraus ausgeführt. Vorwiegend erfolgt vor dem eigentlichen Absprung eine Anlaufbewegung. Zudem sind Sprünge immer zielorientiert und mit taktischen Absichten verknüpft (vgl. KUHLMANN 2010). Wobei taktische Absichten, zum größten Teil darin bestehen, die Aktion eines Gegenspielers zu stören, den Ballbesitz zu erlangen oder selbst eine Angriffsaktion auszuführen (vgl. KOLLATH 1996). Generell sind Sprungbewegungen azyklische Bewegungen, die in verschiedene Bewegungs- oder Funktionsphasen unterteilt werden können. Für Volleyball können laut TILP (2004) grundsätzlich drei Sprungformen unterschieden werden. Es handelt sich dabei um Sprünge bei Angriffsaktionen, Sprünge bei Aufschlägen sowie den Blocksprüngen.

Der Bewegungsverlauf im Sprungservice wird im Folgenden nicht weiter biomechanisch analysiert, da laut COLEMAN (2008) der Sprungservice dem Angriffssprung bis auf eine größere Horizontalverschiebung des Athleten sehr ähnlich ist.

2.3.2.1 Angriffssprung

Der Angriffsschlag und der damit verbundene Sprung stellen die komplexeste Bewegungshandlung im Volleyball dar. Der Sportler hat neben der Aufgabe, die Schlagbewegung koordiniert auszuführen, noch den Auftrag seinen Anlauf und Absprung so zu timen, dass er den zunächst nicht selbst steuerbaren Ball vom Zuspieler optimal be-

schleunigen und durch das gegnerische Block- und Verteidigungssystem ins gegenüberliegende Spielfeld schlagen kann (vgl. FEIRI ET AL. 2007). Dabei ist der Angriffsschlag die wohl wirkungsvollste und am häufigsten vorkommende Technik im Volleyball. Diese Technik kann je nach Schlag- bzw. Anlaufrichtung weiter spezifiziert werden (vgl. PAPAGEORGIOU & SPITZLEY 2000).

Um die komplexe Bewegung beschreiben zu können, wird der Angriffssprung biomechanisch in Anlauf-, Absprung-, Flug- und Landephase eingeteilt (vgl. KUHLMANN 2010, TILP 2004). Bevor der Angriff beginnt, befindet sich der Angriffsspieler in der Regel zum Zeitpunkt des Zuspiels in einer Bereitschaftsstellung hinter der Angriffslinie. Die Angriffsschlagbewegung eines Volleyballspielers kann in eine Anlauf-, Absprung- und Flugphase gegliedert werden (Abb. 5). Diese Phasen werden im Folgenden kurz beschrieben.

Einer der wichtigsten Vorbereitungs Momente für einen optimalen Absprung ist der Anlauf. Die Energie, die für eine möglichst positiv beschleunigende Bodenreaktionskraft aufgebracht werden muss, wird aus der kinematischen Energie des Anlaufs bezogen. Durch den Stemmschritt wird die horizontale Geschwindigkeit in eine vertikale Richtung umgelenkt, sodass eine möglichst hohe Flugkurve des Körperschwerpunkts erzielt wird (vgl. KUHLMANN 2010). Die Flughöhe ist von der Richtung des Körperschwerpunkts und der Geschwindigkeit beim Absprung abhängig (vgl. SONNENBICHLER 1999). Der Anlauf und die Absprunggestaltung zielen insgesamt darauf ab, eine optimale Stellung zum Volleyball und eine maximale Sprunghöhe sowie eine stabile Flugphase, innerhalb welcher der Ball zu dem Zeitpunkt des höchsten Körperschwerpunkts getroffen wird, zu erreichen. Mit Hilfe einer geeigneten Armbewegung wird versucht, die Bodenreaktionskraft positiv zu beeinflussen. Es wird daher vom Springenden versucht, den Beschleunigungsweg der Arme durch weit (nach hinten oben) ausholende Arme zu maximieren. Diese Armbewegung würde im Normalfall zu einer starken Vorwärtsrotation des Oberkörpers führen, die aber durch das Vorführen der Beine kompensiert wird (Abb. 5) (vgl. TILP 2004).

Idealerweise erfolgt der Anlauf in einem zweier Rhythmus, bei dem sich nach einem einleitenden Orientierungsschritt ein Stemmschritt anschließt. Der Orientierungsschritt in Richtung Netz wird von einem Rechtshänder mit dem linken und von einem Linkshänder mit dem rechten Bein ausgeführt. Nach dieser Orientierungsphase folgt ein Stemmschritt, der von KUHLMANN (2010) und TILP (2004) wie folgt beschrieben wird: Im Stemmschritt werden die Arme zunächst nach hinten oben geführt. Darauf folgt ein

langes, dynamisches Einstemmen über die Ferse des Stemmbeines. Je länger der Stemmschritt wird, desto deutlicher kann das Aufsetzen der Ferse beobachtet werden. Zudem ermöglicht ein langer Stemmschritt auch eine Verlängerung des Beschleunigungsweges der Arme. Durch einleitende Flexion des Knies wird der Körperschwerpunkt nach hinten verlagert und abgesenkt. Daran anschließend wird das linke Bein ca. schulterbreit neben den Stemmfuß gestellt. Die horizontale Vorwärtsbewegung des Körperschwerpunkts wird hauptsächlich durch das Aufsetzen des Beistellbeines gestoppt. Dabei kommt es zu einer Übertragung der kinetischen Energie auf die Hüfte, was wiederum eine Rotation des Körperschwerpunkts um den Bodenkontaktpunkt und daher das Anheben des Körpers bewirkt. Entscheidend für die Translation der horizontalen Energie in vertikale Richtung ist letztlich der Einsatz von Bein- und Hüftmuskulatur. Zudem kann nur durch eine gerichtete Koordination der Beinwinkel die gewünschte Bewegungsrichtung erreicht werden.



Abbildung 5: Der Anlauf zu einem Angriffsschlag (aus: FEIRI ET AL. 2007, S.22). Im Bild links sieht man auf „Am(mh)“ den Orientierungsschritt. Auf „ster“ erfolgen der 1. Stemmschritt und die weite Ausholbewegung der Arme sowie die Vorwärtsrotation des Oberkörpers. Schließlich ist auf „dam“ der Beistellschritt dargestellt, bei dem eine Rückverlagerung und Absenkung des Körperschwerpunktes erfolgt.

Der Absprung wird durch das Heransetzen des zweiten Beines in V-Stellung zum ersten initiiert. Es erfolgt dann zeitgleich ein Schub aus den Beinen und dem Vorschwingen der Arme, so dass der Absprung eingeleitet werden kann (vgl. FEIRI ET AL. 2007). Die Absprungbewegung beim Angriffsschlag erfolgt beidbeinig. Für den Sportler ist es vorteilhaft, wenn er eine möglichst große Fläche entgegen der Bodenreaktionskraft erzeugen kann. Aufgrund der anatomischen Gegebenheiten des Menschen (teilweise auch zweigelenkige Muskulatur vorhanden) kommt es dabei nicht zu einer simultanen Aktivierung der Streckmuskulatur, sondern zu einer Art Kaskade. Daher werden zuerst die

großen proximalen Muskeln, wie etwa die Glutealmuskulatur, aktiviert und dann erst die distalen und kleineren des Oberschenkels und der Wade (vgl. TILP 2004).

In der Sprungphase erfolgt die Vorbereitung auf die Schlagbewegung und den Schmetterschlag. Der Sportler hat in dieser Zeit keinen Bodenkontakt und versucht für einen kraftvollen Schlag einen möglichst langen Beschleunigungsweg des Armes zu erreichen. Biomechanisch optimal sind dabei eine Überstreckung des Hüftgelenkes, eine maximal Beckenaufrichtung, eine Rotation des Oberkörpers und ein möglichst weites Zurücknehmen des Schlagarmes (Bogenspannung). In dem Moment in dem der Volleyballer den Kontakt zum Boden verliert, beginnt gemäß des Impulserhaltungssatzes, ein Teildrehimpuls durch die Bewegung des Oberkörpers und des Schlagarmes, der von dem Athleten durch eine Hüftstreckung und Beugung der Beine im Kniegelenk ausgeglichen werden muss (Abb. 6) (vgl. FEIRI ET AL. 2007, TILP 2004).



Abbildung 6: Angriffsschlag aus dem Hinterfeld (aus: FEIRI ET AL. 2007, S.22). Gezeigt sind alle drei Phasen des Angriffsschlags. Gut zu erkennen sind links im Bild die Ausholbewegungen des Armes, das Aufbauen der Bogenspannung, sowie die bereits beschriebene Kompensation des Teildrehimpulses.

Bei der Durchführung der Schlagbewegung kommt es zur Auflösung der Bogenspannung durch eine Hüftbeugung und der Vorrotation des Oberkörpers. Da auch bei dieser Bewegung ein Teildrehimpuls auf den Körper wirkt, muss auch hier eine Ausgleichsbewegung des Körpers zur Kompensation stattfinden. Dies erfolgt durch das Vorführen der Beine bzw. des zum Schlagarm kontralateralen Beins und ein Abklappen nach vorne in der Hüfte (vgl. TILP 2004).

Die letztlich folgende Landephase wird in der Literatur nur selten ausgiebig biomechanisch beschrieben. Die Autoren sind sich jedoch einig darüber, dass die Landung des Sprunges beidbeinig erfolgen sollte, da hier die Verletzungsgefahr geringer als bei einer

einbeinigen Landung ist (vgl. COLEMAN ET AL. 1993, MEUSEL 2006, SONNENBICHLER 1999, TILLMAN ET AL. 2004, WEISHOFF 2002). Laut KUHLMANN (2010) kann durch ein starkes Abfedern mittels Kniebeuge viel Energie bei der Landung absorbiert werden. Durch die zunehmende Spielgeschwindigkeit innerhalb des Sportspiels Volleyball bleibt dem Spieler allerdings selten Zeit für eine ausreichende Absorption der Landungsenergie. Somit geht ein Teil der Kraft in den passiven Bewegungsapparat, was wiederum ein Grund für die hohe Verletzungsquote nach einem Angriffssprung darstellt.

2.3.2.2 Blocksprung

Der Block stellt im Rahmen eines Volleyballspiels die erste Möglichkeit dar, einen Angriffsschlag abzuwehren. Der Blockspieler versucht durch Übergreifen mit den Armen über das Netz eine Verringerung des Schlagwinkels des Angreifers herbeizuführen (Abb. 7).

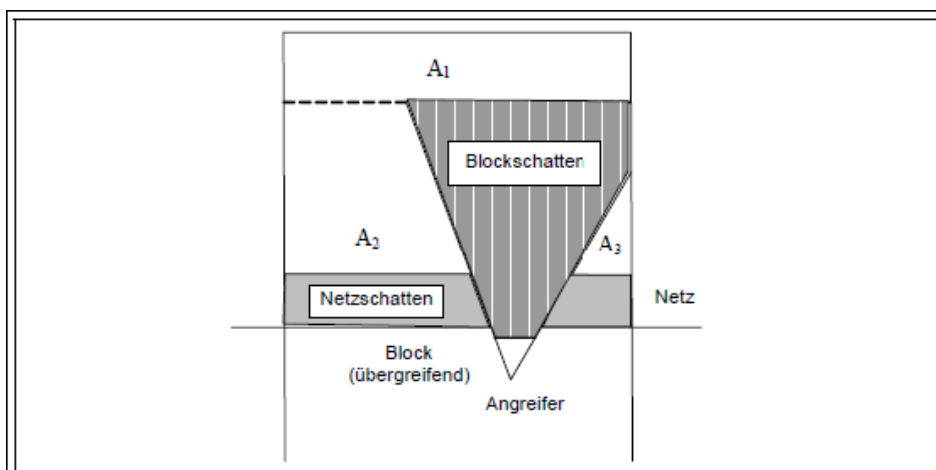


Abbildung 7: Darstellung des Netz- und Blockschattens (aus: TILP 2004, S.107). Die Darstellung zeigt, welche Platzierungsmöglichkeiten im Spielfeld dem Angriffsspieler bei Blockstellung der gegnerischen Mannschaft bleiben und welche Platzbereiche durch den Block abgedeckt sind (Blockschatten).

Grundsätzlich können dabei statische und dynamische und unter denen wiederum Einblock, Zweier- und Dreierblock unterschieden werden. Generell ähnelt der Bewegungsverlauf beim statischen Blocksprung der Bewegung des *Counter-Movement-Jumps*. Dennoch sind kleinere volleyballspezifische Bewegungsmuster im statischen Blocksprung hervorzuheben, die sich aufgrund der zum *Counter Movement Jump* abweichenden Zielorientierung der Bewegung ergeben. So sind beim statischen Block die Hände bereits vor der Bewegung in Stirnhöhe und es wird Ganzkörperspannung aufgebaut. Aus dieser Ausgangsposition kann nun ein statischer oder dynamischer Block erfolgen. FEIRI ET AL. (2007) beschreibt den weiteren Bewegungsablauf auf der Grundlage

dieser Ausgangsstellung für die beiden Blocktechniken wie folgt: Der statische Block ist durch eine hüftbreite Ausgangsstellung mit dem Körperschwerpunkt über den Zehengrundgelenken gekennzeichnet. Man springt aus dem Stand aus gebeugtem Knie- und Hüftgelenk. In dieser Ausgangsstellung befinden sich die Ellbogen vor dem Körper, die Hände auf Stirnhöhe und die Finger sind gespreizt. Nach dem Absprung sollten die Arme und Hände direkt über die Netzkante geschoben werden. Der dynamische Block beinhaltet vor dem Absprung einen Richtungsschritt (Orientierungsschritt), der parallel zum Netz gesetzt wird. Der folgende Stemmschritt und die parallel zum Netz gesetzten Füße leiten dann den Absprung ein. Der Schrittrhythmus ähnelt dabei dem des Angriffssprungs. Während der Flugphase erfolgen schließlich noch eine Vierteldrehung zum Netz hin und das Schieben der Arme über das Netz. Zu beachten ist auch, dass der Absprungort im Idealfall auch den Landeort darstellt. Durch die dynamische Anlaufbewegung ermöglicht diese Blocktechnik eine größere Handlungshöhe, die besonders für kleinere, jedoch sprunghafte Blockspieler von Bedeutung ist (vgl. FEIRI ET AL. 2007, TILP 2004).

Während der Flugphase bleibt sowohl beim statischen als auch beim dynamischen Block der Gesamtdrehimpuls des Spielers konstant. Die Bewegung der Arme erzeugt einen Teildrehimpuls, der durch andere Extremitäten und Körperteile kompensiert werden muss. Dies geschieht in der Regel durch eine Beugung im Hüftgelenk (Flexion durch *M. iliopsoas*) und ein Nachvorneführen der Beine. Sollte man versuchen, die Arme ohne Ausgleichsbewegung der Beine nach vorne zu führen, würde dies andere Ausgleichsbewegungen des Körpers, in der Regel des Rumpfes, nach sich ziehen und eine Rücklage des Oberkörpers wäre die Folge. Der Versuch, die Vorwärtsrotation der Arme zum Übergreifen des Netzes schon während des Absprungs zu initiieren führt fast immer zu einem Netzfehler, da diese Vorwärtsbewegung kaum mehr ausgleichbar ist. Der Absprung sollte daher also immer senkrecht und mit gegenläufigen Teildrehimpulsen der Arme und Beine vollzogen werden. Um eine Netzberührung während der Landephase zu vermeiden, muss die Hüftflexion reduziert werden. Aufgrund der im Verhältnis zu den Armen größeren Masse der Beine ist dafür eine relativ kleine Bewegungsweite ausreichend (vgl. TILP 2004).

Sollte es innerhalb der Flugphase des Blockes nötig sein, die Richtung zu ändern, müssen auch diese Bewegungen durch andere Bewegungen um alle beliebigen Achsen kompensiert werden (vgl. FEIRI ET AL. 2007).

TILP (2004) hält für Sprünge und die erforderlichen Ausgleichsbewegungen folgendes fest:

„Für die Ausgleichsbewegungen der Arme ist die Rumpfbewegung im Volleyball bei allen [angeführten] Sprungformen von großer Bedeutung. Ein gezieltes Training der Rumpfmuskulatur ist daher zur Sicherstellung der konditionellen Voraussetzungen für den Einsatz der Rumpfbewegung notwendig“ (TILP 2004, S. 109).

Diese Kompensationsleistung erfolgt durch die Beugung im Hüftgelenk und durch das Vorführen der Beine.

2.4 Spezifische körperliche Anforderungen im Volleyball

Nach HEUCHERT (1978) und SCHAFLE ET AL. (1990) machen Spitzensportler bis zu 150 maximale Vertikalsprünge pro Spiel. Da die Reichhöhe im Volleyball ein entscheidender Faktor ist, bilden Sprünge auch oft das Kernstück des Trainings. Die hohe Frequenz wird daher sowohl durch das Spiel als auch durch die speziellen Sprungtrainingsformen erreicht (vgl. BRINER & KACMAR 1997). AAGAARD & JØRGENSEN (1996) und SCHAFLE ET AL. (1990) gehen davon aus, dass die Überlastungsschäden im Volleyball überwiegend durch die Landung nach Angriffsschlägen und Blockaktionen hervorgerufen werden. Ursachen dafür liegen in der hohen Frequenz an Sprüngen mit unmittelbar anschließenden Landungen (vgl. GARRICK & WEBB 1990). Dabei werden die unteren Extremitäten mit Kräften von etwa 8000 N ausgesetzt, während bei normalen Bewegungen lediglich Kräfte um die 500 N auftreten (vgl. BRINER & KACMAR 1997, JOHNSON ET AL. 1996).

Auch wenn durch das Rallye-Point-System die Spiele kürzer werden und damit auch weniger gesprungen wird, ist im Training eine umgekehrte Tendenz festzustellen. Gerade weil weniger Punkte ausgespielt werden, wird die Bedeutung des einzelnen Punktes erhöht. Daher muss die Effektivität der Angreifer verbessert werden, was im Training zu einer noch stärkeren Schwerpunktsetzung hinsichtlich der Steigerung der Sprungkraft führt (vgl. REESER & BAHR 2004, TILP 2004).

FERETTI ET AL. (1984) konnten einen Zusammenhang zwischen der Häufigkeit des Auftretens von Knie- und Sprunggelenksverletzungen und der Zahl der Spiel- und Trainingseinheiten herstellen. Je größer die Zahl der Trainings- und Spieleinsätze ist, umso häufiger treten diese Verletzungen auf. Bei mehr als vier Trainingseinheiten und

Spieleinsätzen pro Woche liegt die Häufigkeit bei über 40 %. Aus dieser Beobachtung lässt sich erklären, dass mit der Zunahme des Leistungsniveaus auch die Überlastungsschäden steigen.

Obwohl bereits eine einzige Bewegung zu einem Schaden führen kann, verursachen nach VIOLETTA (1995) harmlose, aber extrem häufig wiederholte Fehlbelastungen und Bewegungen Überlastungsverletzungen, insbesondere, wenn die Erholungszeit zwischen den Sprüngen oder Sprungserien gering ist. Auch andere Autoren (vgl. VOIGT & RICHTER 1991) führen die Belastungen, die sich durch das häufige Springen und Landen ergeben, als Ursache für Beschwerden an.

SOMMER (1988) untersuchte, welche Belastungen sich in der Frontalebene ergeben können und stellte bei Volleyballspielern eine mediale Femurbewegung während der Landung fest, mit der Folge einer ungünstigen Valgus- und Inversionsstellung des Kniegelenks. Somit kann die Patella nicht in ihrer Schiene gleiten. Für die Patellarsehne ergibt sich damit eine Belastungsrichtung, die nicht ausschließlich in der gewünschten Sagittalebene liegt. SOMMER sieht da die Gefahr einer Überbeanspruchung von Gelenkknorpel und Patellarsehne. Grundlegende Ursache für Ausweichbewegungen im Knie ist eine muskuläre Dysbalance, bestehend aus verkürzten (*M. iliopsoas*) und abgeschwächten Muskeln (*Mm. glutei*, *Mm. ischiocrurales*, *Mm. abdominis*), mit der Folge einer Ventralkippung des Beckens und Hyperlordosehaltung der Lendenwirbelsäule, häufig auch Rundrücken. Dadurch ist eine optimale Becken-Oberschenkelstabilisation in der Sprungbewegung nicht zu gewährleisten. Auch für SIEBER ET AL. (1989) besteht ein Zusammenhang zwischen Muskelzustand und Belastung. Eine schmerzhafte Chondropathia und das Patellarspitzen-Syndrom hängen mit einem zunehmenden Ungleichgewicht der Kraftverhältnisse zwischen *Quadriceps* und *Ischiocruralmuskulatur* zu Ungunsten der *Ischiocruralmuskulatur* zusammen.

HECK & HENKE (1995) geben ebenfalls als Faktor für Knie- und Sprunggelenksverletzungen muskuläre Dysbalancen an. Dadurch ist auch eine stärkere Belastung von Gelenken, Bändern und Sehnen bedingt. Zudem steht bei ihnen als Hauptursache eine schlechte Technik bei den einzelnen Bewegungsabläufen in Verbindung mit fehlender Koordination und Kraft im Fokus.

Bei Volleyballspielern zeigt sich ein sehr hoher Anteil an Überlastungsschäden. Vermutungen einzelner Autoren lassen den Schluss zu, dass gerade Sprunghandlungen inklusive der darauf folgenden Landung Auslöser von Verletzungen und im Weiteren von

Überlastungsschäden sein können. Im Volleyball stellen die extrem hohe Sprungbelastung sowie die hohe Anzahl einseitiger Armbewegungen repetitive und uniforme Belastungen für den Bewegungsapparat dar und können zu volleyballtypischen Überlastungsschäden und chronischen Verletzungen führen (vgl. BRINER ET AL. 1997, REESER 2003A).

Beim Angriffsschlag oder oberen Frontalaufschlag ist die Wirbelsäule beim Volleyball asymmetrischen mechanischen Belastungen ausgesetzt (Abb. 8). Analog zum Tennis-aufschlag ist die Körperhaltung am Ende der Ausholbewegung in einer starken Hyperlordose der Lendenwirbelsäule sowie Lateralflexion und Rotation zur Schlagarmseite ausgerichtet. Beim Durchschwingen zum Ball wird der Schlagarm dann ventral-kaudal, gefolgt von einer vermehrten Brustkyphose bewegt (vgl. KASS 2006).



Abbildung 8: Aufschlag und Angriffsschlag (Quelle: FIVB- <http://www.fivb.org/>).

Das dargestellte Bewegungsmuster führt zu charakteristischen anatomischen und muskulären Veränderungen der Wirbelsäule eines Volleyballspielers (vgl. DALICHAU & SCHEELE 2002):

- der Kyphosewinkel der Brustwirbelsäule ist signifikant vergrößert,
- man findet eine Vermehrung des Skoliosewinkels

Zusätzlich wird die Wirbelsäule während der Landung gestaucht. Bei 44 % der Leistungsvolleyballer zeigen sich nachweisbare degenerative Veränderungen der Bandscheiben. Auffällig ist, dass bei Volleyballspielern, die einer hohen Belastung über mehrere Jahre ausgesetzt waren, mit 61,5 % hochsignifikant häufiger degenerative Veränderungen gefunden wurden als bei Spielern, die einem kontinuierlichen Trainingsaufbau folgten und regelmäßig wirbelsäulenstabilisierende Übungen durchführten (vgl.

BARTOLOZZI ET AL. 1991). Untersuchungen von BARANTO ET AL. (2009) und KASS (1995) zeigen, dass gerade Volleyballer eine schwach ausgeprägte Bauchmuskulatur haben und zu einem Hohlkreuz neigen. Ihren Vorstellungen zu Folge werden dabei beim Springen, beim Angreifen aber auch beim Gewichtstraining entstehende Kräfte ungefiltert auf die Wirbel übertragen und führen meist zu Gelenkverschleiß (Arthrose). Diese Annahme entspricht den Vorstellungen von SOMMER (2001, 2010), der von einer Wechselwirkung von Hohlkreuz- und Rundrückenfehlhaltungen und Überbelastung der Wirbelsäule aber auch der unteren Extremität spricht und deshalb das wirbelsäulenaufrichtende Training als einen zentralen Bestandteil einer Überbelastungsprävention des Haltnungs- und Bewegungsapparates fordert.

2.5 Traumatologie von Kindern und Jugendlichen im Volleyball

Eine große Gefahr besteht allgemein darin, dass unreflektiert Trainingsmaxime aus dem Hochleistungssport in das Training von Amateuren sowie Kindern und Jugendlichen übernommen werden. Dabei ist besonders das Training von Kindern und Jugendlichen durch monotonen, zu intensiven und nicht den Körperverhältnissen angepasstes Training gefährdet (vgl. BANZER 1992, KLIMT 1984).

Die Belastungsanforderungen der Kinder und Jugendlichen ist relativ hoch. So trainieren 54 % der A bis C Jugend zweimal in der Woche, 11 % sogar dreimal, bei einer durchschnittlichen Trainingsdauer von 105 Minuten. Auch die Mehrzahl der D- und E-Jugend trainiert zweimal die Woche. Kinder, die in Auswahlmannschaften spielen, sind oft drei- oder sogar viermal die Woche im Training, sofern es die äußeren Rahmenbedingungen (infrastrukturellen Bedingungen) zu lassen. Bedenkt man wie jung diese Spieler zum Teil noch sind, so ist deren körperliche Belastung erheblich. Ungünstige Belastungsvoraussetzungen an Wachstumsfugen, aber auch in bestimmten Wachstumsphasen, ein zu lockerer Kapselbandapparat der Gelenke stellen ein erhöhtes Verletzungs- und Überbelastungsrisiko dar. Diese Problematik kann man mindern, indem man ein ergänzendes Muskelaufbautraining durchführt, sofern ein ausreichend physiologischer und systematischer Muskelaufbau stattfindet. In der Praxis wird dies allerdings nur in etwa einem Viertel der A bis C-Jugendmannschaften praktiziert (vgl. BANZER 1992, REESER 2003A,B,C, SOMMER 2010).

Ein solches Training muss sich an den jeweiligen Altersstufen orientieren und insbesondere in den neuralgischen Phasen der Wachstumsschübe auf die individuellen körperlichen Voraussetzungen Rücksicht nehmen. Grundsätzlich ist ein besonderer Wert auf gute Bewegungstechnik zu legen. Eine gute Schlagtechnik wie auch eine gute Sprungtechnik mit optimalem Absprung und optimaler Landung helfen die Verletzungsraten im Bereich der oberen und unteren Extremität zu reduzieren. Prinzipiell soll ein solches Training Muskelungleichgewichte, wie sie während der Wachstumsschübe oder durch ein spezifisches, einseitiges und intensives Training von Bewegungselementen, vor allem im Bereich von Schulter- und Beckengürtel nicht zu vermeiden sind, beheben und auch vermeiden helfen. Ein systematisches Training der rumpfaufrichtenden Muskulatur erscheint dazu unerlässlich. Außerdem würde bereits eine Verringerung der Anzahl der Sprünge im Training Ermüdungsverletzungen vorbeugen (vgl. REESER 2003A,B,C, SOMMER 1988, WREDE & PFÖRRINGER 1998).

3 Einnahme und Aufrechterhaltung einer stabilen Körperhaltung

Dieses Kapitel legt die wichtigen Aspekte der Körperhaltung im Bezug auf das volleyballspezifische Beanspruchungsprofil dar. Zu Beginn wird ein Überblick über die Entwicklung und Erhaltung einer stabilen Körperhaltung gegeben. Fokussiert wird im Zusammenhang mit dem Forschungsschwerpunkt die Rumpfstabilität. Abschließend werden Aspekte, die sich auf ein Training der Rumpfstabilität auswirkenden Faktoren beziehen, behandelt.

3.1 Körperhaltung und Stabilität

3.1.1 Körperhaltung

Eine quantifizierende Analyse von Haltung kann an markanten Körper- bzw. Skeletteilen in räumlicher Beziehung untereinander sowie zur Umwelt bemessen werden. Beckenneigung und Wirbelsäulenwinkel geben darüber Aufschluss, ob es Abweichungen von festgelegten Normwerten gibt. Abweichungen werden als Fehlhaltungen standardisiert (vgl. DEBRUNNER 1988, KLEE 1995A).

Die Körperhaltung des Menschen spielt auch im Sport eine wichtige Rolle (vgl. ZIPPRICH 2005). Dabei gilt es nicht nur die Haltung des Körpers im aufrechten Stand zu sichern, sondern auch bei Bewegungen (vgl. PANZER ET AL. 2007).

Die Anforderungen an eine aufrechte Körperhaltung im Stand lassen sich zum einen statisch und zum anderen dynamisch festlegen. Die Haltungsbeurteilung fokussiert sich vornehmlich auf die Wirbelsäule und den Rumpf. In der Ruhehaltung mit einer weitgehend entspannten, den Rumpf aufrichtenden Muskulatur wird die Form der Körperhaltung wesentlich durch die passiven Strukturen des Haltungs- und Bewegungsapparates, vornehmlich der Form des knöchernen Skelett bestimmt sowie der auf den Körper wirkenden Schwerkraft. Diese Haltung lässt sich korrigieren durch eine Aktivierung der Rumpf aufrichtenden Muskulatur.

In dem Maße in dem die Schwerkraft überhandnimmt sinkt der Körper in sich zusammen. Typischerweise kommt es zu einer Abkipfung des Beckens nach vorne und zu einer Verstärkung der Lordose der Lendenwirbelsäule und Kyphosierung der Brustwir-

belsäule. Der Schultergürtel ist gleichzeitig gekennzeichnet durch hoch gezogene und nach vorn gekippte Schulterblätter, die nach hinten wie abgeklappte *Engelflügel* erscheinen. (vgl. DEBRUNNER 1988, FISCHER 2010, WITT ET AL. 1990, ZIPPRICH 2005).

Folglich benötigt eine ausreichend korrigierte Körperhaltung für dessen Aufrechterhaltung eine permanente ausreichend starke Muskelaktivität, wobei der relativ hoch gelegene Körperschwerpunkt über einer geringen Standfläche als grundsätzlich labil zu werten ist (vgl. DEBRUNNER 1988).

Bewegung hilft dieses Labilitätsproblem zu reduzieren führt aber zu einer Wechselwirkung mit der bei der Extremitätenbewegung genutzten Muskulatur; denn peripher wirkende Kräfte müssen von der Basis der Extremitätenhebel, d.h. von der Wirbelsäule und vom Rumpf gehalten werden (vgl. FISCHER & SOMMER 2006, ZIPPRICH 2005). Die Sicherung des für eine optimalen Haltung benötigten Muskeltonus erfordert eine stetige Anpassung an Längenveränderung im Schwerfeld mit einer adäquaten Antizipation von Gegen- und Rückstoßkräften (vgl. BOUTELLIER & ULMER 2007).

3.1.2 Stabilität

Bei einer gegebenen Ausgangsvoraussetzung des bindegewebigen Anteils des Haltungs- und Bewegungsapparats wird die Stabilität des menschlichen Körpers durch ein aufeinander abgestimmtes Zusammenwirken seiner synergistischen und antagonistischen Muskelgruppen gewährleistet. In der Bewegung auftretende Druck-, Zug-, Torsions- und Scherkräfte erfordern nicht nur eine generell kräftig entwickelte Muskulatur, sondern zugleich die Fähigkeit diese Muskulatur zu kontrollieren koordinieren. Die bei einer Kraftübertragung entstehenden Kräfte werden über die Extremitätenhebel via Becken- bzw. Schultergürtel auf die Wirbelsäule übertragen (vgl. TITTEL 1995). Sie lassen sich nicht zuletzt im Sport nur tolerieren, wenn die synergistische und antagonistische Muskulatur optimal aufeinander abgestimmt unter Nutzung des Gegenspannungsprinzips arbeitet. Dazu bedarf es eines neuronalen Kontrollsystems, das nicht nur einzelne Muskeln sondern ganze Muskelgruppen koordiniert aktiviert oder hemmt sondern auch jeweilige Gelenksstellungen in Bezug auf ihre physiologische Position halten oder korrigieren hilft. In diesem Zusammenhang spricht PANJABI (1992) von drei Stabilisierungssystemen: ein aktives und ein passives Untersystem sowie einem neuralen Kontroll- und Steuerungssystem (Abb. 9).

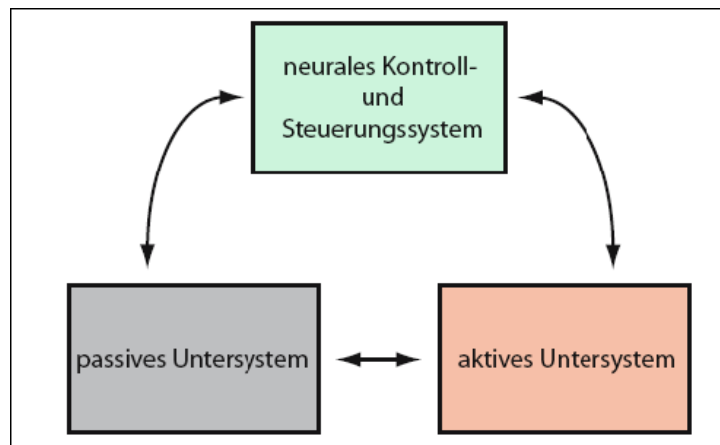


Abbildung 9: Vereinfachte schematische Darstellung des stabilisierenden Systems (nach: PANJABI 1992, aus: LINDEL 2006, S. 22).

Das neurale Kontroll- und Steuerungssystem, ist befähigt, stabilisierende und bewegende Aktivitäten situationsadäquat zu modulieren und benötigt dazu Informationen aus der Peripherie (vgl. LINDEL 2006). Diese Informationen werden vorausschauend durch den propriozeptiven Einfluss der Muskelspindeln über Gamma-Motoneuronen sensibel vor-eingestellt. Schon bei einer geringen Muskeldehnung kommt es zur Aktivierung der Alpha-Motoneuronen mit dem Effekt einer Muskelvorspannung durch die von außen einwirkenden Kräften besser als im Falle einer laxen Muskulatur entgegen gewirkt werden kann (vgl. BRUHN 2003).

In Bezug auf diese Komponente definiert MÜLLER (2008) Gelenkstabilität als

„[...] die unterbewusste Aktivierung von dynamischen Rückhalte-mechanismen in Vorbereitung bzw. Folge von Gelenkbewegung/-belastung mit dem Ziel der Aufrechterhaltung der Gelenkstabilität“ (MÜLLER 2008, S.15).

Laut LINDEL (2006) kann es durch eine Störung in einem der drei Systeme zum Stabilitätsverlust kommen. In diesem Zusammenhang stellen BRUHN (2003), HOFMAIER (2005) und WEIST (2002) die Bedeutung der Kokontraktion von Synergisten und Antagonisten bei der funktionellen Stabilisation in den Vordergrund und damit die Nutzung des Spannungs-Gegenspannungs-Prinzips, die im Falle einer Störung der Kokontraktion nicht möglich ist und Stabilitätsverlust bedeutet. Damit entscheiden nicht die Funktion einzelner Muskeln sondern die von kompletten Muskelketten und Muskelschlingen über Stabilität oder Instabilität. In Ergänzung spricht ROSTOCK (2003) davon, dass Haltung und Bewegung durch das Zusammenspiel von Muskelgruppen zustande kommt, wobei

bei der Lösung einer koordinativen Aufgabe den Muskelgruppen, die ein gemeinsames Ziel verfolgen, eine Schlüsselrolle zukommt (Abb. 10).

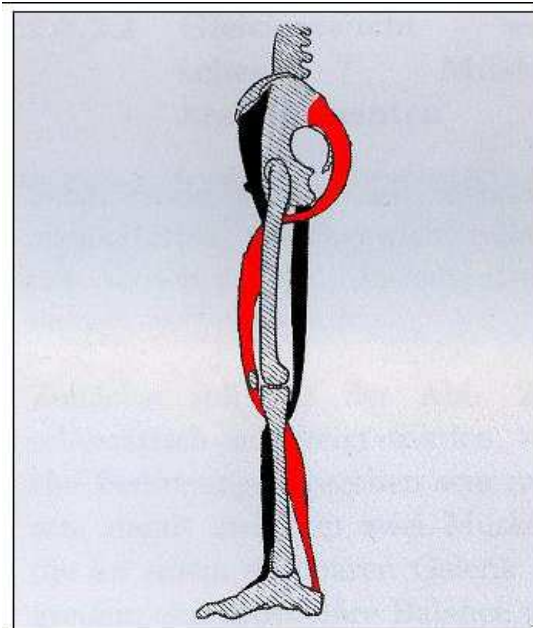


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Beuger- und Streckerkette des Beines (aus: ROSTOCK 2003, S. 135). Die Darstellung zeigt zwei Muskelschlingen der unteren Extremität, die Beuger- und Streckerfunktion erfüllt. Innerhalb einer Kette sind synergistische und zwischen den Ketten antagonistische Funktionen zu realisieren. Während der Beugung im Hüft- und Kniegelenk und der Dorsalflexion im Sprunggelenk kontrahiert die Beugerkette. Hier schwarz dargestellt sind *M. iliopsoas*, ischiokurale Muskulatur und Extensoren des Unterschenkels. Bei der Streckung des Hüft- und Kniegelenk und der Plantarflexion im Sprunggelenk kontrahiert die Streckerkette. Hier rot dargestellt *M. gluteus maximus*, *M. quadriceps femoris* und *M. soleus*.

Einen wichtigen Bestandteil der Muskelschlinge, die den Rumpf mit den oberen Extremitäten verbindet, bildet die Bauchmuskulatur. Sie bildet zusammen mit *M. tibialis anterior* und der Hamstringmuskulatur eine Beugeschlinge. Gegenspieler der Bauchmuskulatur ist der *M. erector spinae* und *M. latissimus dorsi*. Zusammen mit dem *M. gluteus maximus*, *M. rectus femoris*, *M. gastrocnemius* und der Peronealmuskulatur bilden alle eine antagonistische Streckschlinge (vgl. WEIST 2002). Dabei ist die Kontrolle durch die Beugemuskulatur für eine optimale Nutzung der Streckmuskulatur von besonderer Bedeutung für die Extremitätenstabilität im Stand wie auch in der Bewegung (vgl. HOFMAIER 2005, WEIST 2002).

3.1.2.1 Körpergleichgewicht und Stabilität

LUDWIG & SCHMITT (2006) sprechen von einem externen Gleichgewicht, bei dem die auf den Körper wirkenden Kräfte sich in einem Gleichgewichtszustand befinden der z.B. ein Umfallen verhindert. Unter einem internen Gleichgewicht verstehen sie

eine jeweilige Gleichgewichtssituation der verschiedenen Körperteile zueinander, die u.a. dauerhafte Überbelastungen verhindern vermag.

„Gehen wir davon aus, dass unser Körper bestrebt ist dieses Belastungsoptimum beizubehalten, so hätten wir ein Kriterium, nach dem das Zentralnervensystem (ZNS) ein internes Gleichgewicht aufrecht zu erhalten versucht. Störungen der optimalen Belastung einer Struktur (z.B. einer Gelenkfläche) durch eine Störung des internen Gleichgewichts (z.B. durch eine Hohlkreuzposition der Lendenwirbelsäule) führen zu einer dauerhaften Überlastung der Struktur (z.B. verstärkte einseitige Abnutzung des Gelenkknorpels) und irgendwann zu Beschwerden“ (LUDWIG & SCHMITT 2006, S. 3).

3.1.2.2 Beckenaufrichtung

Entscheidend für das interne Gleichgewicht des menschlichen Körpers und seiner stabilen Körperschwerpunktslage ist die Aufrichtung des Rumpfes. Diese Aufrichtung wird wesentlich von der Beckenneigung bestimmt (vgl. LUDWIG & SCHMITT 2006). Der Neigungswinkel ergibt sich dabei in einer seitlichen Betrachtung des Rumpfes aus dem Winkel der Verbindungslinie zwischen dem vorderen und hinteren oberen Darmbeinstachel und der Horizontalebene als Orientierung (Abb. 11). Eine jeweils stabile Beckenneigung ergibt sich bei einem gegebenen Körpergewicht und Körperform aus der Wechselwirkung der beckenaufrichtenden und der beckenabkippenden Muskelgruppen (vgl. KLEE 2001, ROSTOCK 2003).

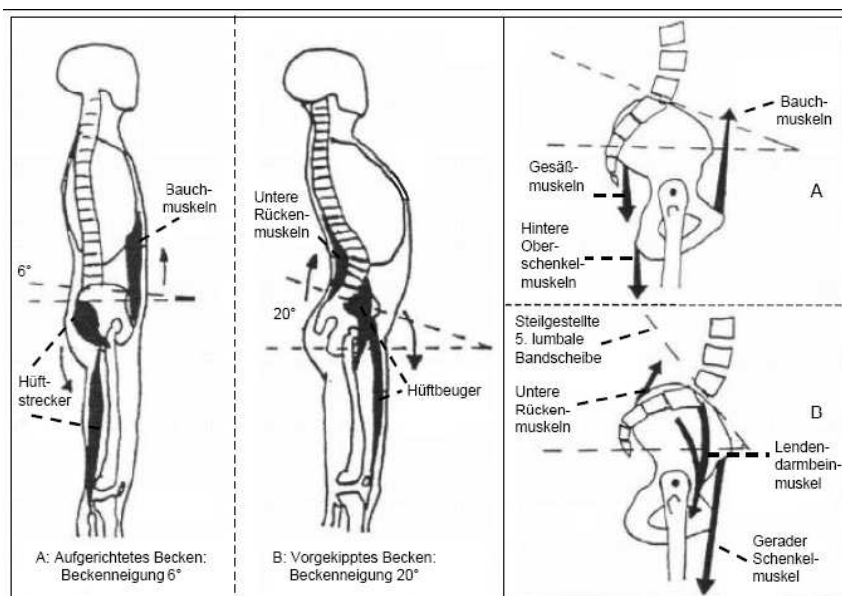


Abbildung 11: Schema der beckenaufrichtenden und beckenvorkippenden Muskulatur (aus: KLEE 2001, S. 496)

Unter ausreichend physiologischen anatomischen Voraussetzungen bestimmt der Verkürzungszustand des Hüftbeugemuskels (*M. ileopsoas*) den Grad der Beckenkipfung im

Stand; denn dieser Muskel entspringt der Vorderseite der unteren Lendenwirbelsäule sowie der Innenseite des Beckens und inseriert im Bereich der Vorderinnenseite des oberen Femurbereichs (*M. trochanter minor*). Eine Streckung des Kniegelenks im bipeden Stand bedeutet damit unweigerlich, dass sich die Lendenwirbelsäule zur Aufrechterhaltung des Körpergleichgewichts verstärkt lordosiert. Eine gut ausgebildete Hüftstreckmuskulatur (*M. gluteus*), Bauchmuskulatur und ischiocrurale Muskulatur können dies als Gegenspieler des Hüftbeugemuskels verhindern helfen, müssen aber in Kokontraktion der Rückenmuskulatur synchron aktiviert werden (vgl. HOFMAIER 2005, SOMMER & ROHRSCHEIDT 1988, WEIST 2001).

Mit einer verstärkten Beckenneigung korrelieren allein aus funktionell-anatomischen Gründen eine verstärkte Innenrotation des Femurs mit einer funktionellen X-Stellung des Kniegelenks und einer daraus abzuleitenden verstärkten Pronationshaltung des Fußes mit Vorfußabduktion. Dieser Fehlhaltung kann durch eine aktive Aufrichtung des Beckens entgegengewirkt werden (vgl. SOMMER & ROHRSCHEIDT 1988, SOMMER & HOTTENROTT 1998).

Eine unzureichende Beckenaufrichtung geht auch einher mit einer eingeschränkten Stabilität des Schultergürtels mit entsprechenden hochgezogenen und nach vorn gekippten Schulterblättern, die auch als eine Engelflügel-Stellung bezeichnet wird, mit deren ungünstigen Auswirkung auf die Funktion der oberen Extremitäten (vgl. SOMMER & ROHRSCHEIDT 1988, SOMMER & HOTTENROTT 1998).

Folglich ist eine gut ausgebildete Rumpfmuskulatur unverzichtbar für eine stabile und gute Körperhaltung im arthromuskulären Gleichgewicht (vgl. HOFMAIER 2005, ROSTOCK 2003). Um dieses Gleichgewichtssituation herzustellen bedarf es der Kräftigung der Bauch- und Gesäßmuskulatur sowie einer Dehnung der Hüftbeuger (vgl. LUDWIG & SCHMITT 2006, ROSTOCK 2003). Nach SOMMER ET AL. (1987) und SOMMER & HOTTENROTT (1998) lässt sich ein noch besserer Effekt durch ein statisch orientiertes komplexes Training der Becken aufrichtenden Muskulatur erreichen, bei der auf Reflexebene auch eine Detonisierung u.a. des verkürzten Hüftbeugers und somit seine *aktive* Dehnung zu erreichen ist (vgl. Kap 3.1.5).

3.1.3 Rumpfstabilität und Sport – Haltungskontrolle

Eine gut ausgebildete Rumpfmuskulatur gilt als Schlüsselfaktor für Mobilität und Leistungsfähigkeit im Sport und Alltag und wird sowohl im Interesse einer konditionellen

Leistungssteigerung für Sportler als auch zu Rehabilitationszwecken nach Verletzungen als eine wesentliche Grundvoraussetzung betrachtet; denn kausale Zusammenhänge zwischen Fuß-, Knie- und Hüftproblemen mit funktionellen Instabilitäten im Bereich des Beckens und der Lendenwirbelsäule unter Beteiligung der Rumpfmuskulatur erscheinen inzwischen unstrittig. Um eine Rumpfmuskulatur gut auszubilden kommen Methoden von klassischer Funktionsgymnastik bis hin zu apparativ gestützten Trainingsmaßnahmen zur Anwendung (vgl. KONRAD ET AL. 2004, MEIER 2007, MEIER 2005).

Im Volleyball gilt schon seit Jahren das Rumpfstabilisationstraining als Bestandteil eines leistungsorientierten Trainings. Es soll Grundvoraussetzungen für eine verletzungsfreie, sportliche Aktivität und technisch exakte Bewegungsausführung schaffen. Vorwiegend werden dabei Übungen trainiert, die auf eine Verbesserung der geraden und schrägen Bauchmuskulatur, deren oberen und unteren Anteil sowie die geraden und schrägen Rückenstrecker und der rotatorischen Muskelkette hinarbeiten. Die meisten Übungen werden mit dem eigenen Körpergewicht absolviert, aber es wird teilweise auch zur Verstärkung der Belastung mit Kraftgeräten oder mit Freihanteln trainiert (vgl. MEIER 2005, MEIER 2007, SWISSVOLLEY 2005A).

SOMMER ET AL. entwickelten bereits 1987 ein Konzept zur Verletzungsprophylaxe und gleichzeitigen Leistungsoptimierung, das über ein spezifisches funktionelles Rumpfstabilisationstraining mit dem Ziel der optimierten Rumpfaufrichtung schädigende und leistungsmindernde Ausweichbewegungen verhindern lässt. Hierbei handelt es sich um ein statisch ausgerichtetes den gesamten Körper und damit gleichzeitig Streck- und Beugemuskeln einbeziehendes Trainingskonzept, das einerseits außerordentlich effektiv weil auch intensiv ist und andererseits die Wahrnehmungsfähigkeit und Beherrschung des Körpers über eine optimierte Körperspannung und somit das Ganzkörpergefühl fördert (s. Kap. 3.3.2).

3.1.4 Rumpfstabilität speziell beim Lauf und Sprung

„Schnelle Beine allein genügen nicht!“ (SOMMER & HOTTENROTT 1998, S. 10)

Der Rumpf muss laut SOMMER (1998) stabil mit ausreichender Körperspannung über der Unterstützungsfläche gehalten werden, um die von den Beinen entwickelten Impulse bzw. Kräfte, z.B. beim Laufen oder Springen möglichst trägheitsfrei in Bewegung

umsetzen zu können. Im Vergleich eines bestmöglich aufgerichteten Rumpfes mit einem gut aufgerichteten Becken, bedeutet ein Rumpf mit einer verstärkten Ventralkipfung des Beckens mit Hyperlordose eine Veränderung der Körpermasse um die Körperlängsachse mit Nachteilen in Bezug auf die für die bipede Bewegung so bedeutsame Rotationsbeweglichkeit der Wirbelsäule aber auch wegen einer Dezentrierung der Masspunkte um die Körperlängsachse ungünstigeren Weiterleitung von Bewegungsimpulsen der Extremitäten.

Die Vorwärts- und Aufwärtsbewegung des Körperschwerpunktes beim Lauf und Sprung wird über eine Streckung der unteren Extremität dem jeweiligen Standbein initiiert und beginnt mit einer Streckung des Hüftgelenkes gefolgt von einer Streckung des Kniegelenkes und dann des Fußes. In dem Maße in dem der Körperschwerpunkt vor den Abstützpunkt fällt wird aus einer Vertikalbeschleunigung eine Horizontalbeschleunigung. Nur wenn die Richtung der Impulse der einzelnen Bewegungssegmente gleichsinnig sind und in eine Bewegungsebene fallen, darf eine ökonomische Impulsweiterleitung erwartet werden. Entsprechend müssen Ausweichbewegungen oder ein Nachgeben zum Beispiel im Fuß bei der Aufwärtsbewegung als Leistungsmindernd gewertet werden. Ebenso negativ wirkt beim Laufen ein zu hoher Streckwiderstand in der ersten Bodenkontaktphase, wenn dieser Bodenkontakt vor dem Körperschwerpunkt liegt (vgl. SOMMER & HOTTENROTT 1998, SOMMER & ROHRSCHEIDT 1988). Er ist allerdings beim Anlauf mit dem letzten Schritt zu einem Sprung zur Erhöhung der Muskelvorspannung und Aktivierung von Dehnungsreflexen als Stemschritt gewollt und wird als leistungsfördernd betrachtet. Er unterstützt die für einen Sprung erforderliche extreme Vertikalbeschleunigung. Und wie dem Lauf vergleichbar ist neben der Kraftentwicklung bei der Streckung des Stützbeines die ausreichende Aufrichtung des Rumpfes mit entscheidend für die Sprungleistung (JUNG 1984). Die stützbeinseitige Streckung ist mit der Streckung im Hüftgelenk, Kniegelenk und Fuß allerdings noch nicht beendet sondern wird weiter verstärkt durch eine Beckenrotation, was wiederum eine ausreichende Becken- und Rumpfaufrichtung voraussetzt; denn nur ein ausreichend aufgerichtetes Becken und eine ausreichendaufgerichtete Lendenwirbelsäule können in der Rotation um die Körperlängsachse einen horizontal ausgerichteten Vorwärtsimpuls ermöglichen.

Die Streckung im Stützbein bestimmt auf Reflexebene die Beugung des Schwungbeines, was gerade für eine schnelle Laufbewegung außerordentlich bedeutsam ist. Folglich bestimmt auch der Grad der Streckung des stützbeinseitigen Hüftgelenkes die schwungbeinseitige Beugung und somit die entsprechende Phasenverschobene Bewe-

gung in den peripher gelegenen Abschnitten. Eine Streckhemmung im Hüftgelenk, durch eine Ventralabkippung des Beckens, wie sie in der Ermüdung kaum zu vermeiden ist, führt folgerichtig zu einer Störung dieser Reflexmotorik. Eine gleichsinnige Störung ist aber auch dann zu erwarten, wenn in der Ermüdung versucht wird z.B. die Schrittlänge zu erhalten indem willentlich und vorzeitig eine Ausgreifbewegung des Schwungbeins initiiert wird, weil eine ausreichend lange Stützreaktion durch die Streckbehinderung im Hüftgelenk nicht möglich ist. Der übliche Versuch die Beckenaufrichtung durch eine verstärkte Rumpfaufrichtung zu erhalten ist i. d. R. untauglich und beinhaltet lediglich eine verstärkte Lordose der Wirbelsäule. Eine ausreichend gute Streckung im Hüftgelenk ist damit nicht zu garantieren (vgl. SOMMER & ROHRSCHEIDT 1988, JUNG 1984).

JUNG (1984) fordert für den Sprung vom Absprung bis zur Sprunglandung eine optimale Regulierung und Stabilisierung des gesamten Haltungs- und Bewegungsapparat. Die Bein- und Rumpfbewegungen müssen so koordiniert werden, dass der Körperschwerpunkt senkrecht über den abstoßenden Füßen im Bereich der Unterstützungsfläche liegt. Dadurch können auch Verletzungen durch Stürze vermieden werden. Sogar während des Augenblicks des schwerelosen Schwebens muss die Körperhaltung koordiniert werden, sodass keine falsche, schädigende Stellung bei der Landung auftritt. Die Landung erfolgt zuerst mit dem Vorfuß dann gefolgt von einer Beugung im Sprung-, Knie- und zuletzt Hüftgelenk in einer komplexen Gleichgewichtsregulation von Rumpf, Beinen und der Arme. Nach SOMMER & ROHRSCHEIDT (1988) sowie BERSCHIN (2011) dürfte gerade ein gut aufgerichteter Rumpf mitentscheidend dafür sein, dass bei der Landung nicht eine günstige Zentrierung der Körpermasse über der Stützfläche vorliegt sondern auch ein Strecktonus der unteren Extremitäten, der durch ein ausreichendes Nachgeben eine weiche, gedämpfte und insgesamt schadensfreie Landung erlaubt.

3.1.5 Muskuläre Balance und Dysbalancen

Die Körperhaltung des Menschen wird beschrieben durch die räumliche Beziehung der Körperteile bzw. der Skelettelemente zueinander und/oder zur umgebenden Umwelt. Dabei werden selten einzelne Muskeln bei der Wirkung des aktiven auf das passive System betrachtet. Der Blick liegt sowohl auf den synergistisch arbeitenden als auch antagonistisch arbeitenden Muskeln in einer gesamten kinematischen Kette (vgl. TITTEL 1994).

Die Körperhaltung erfordert das harmonische Zusammenwirken aller ein Gelenk beeinflussender Muskeln und Strukturen an, insbesondere im Wirken gegen die Schwerkraft (vgl. KLEE 1995A). Diese Zusammenarbeit wird als *muskuläre Balance* bezeichnet (vgl. LINDEL 2006). Sie ist gekennzeichnet durch eine physiologisch normale Stellung des Gelenks. Die Aufrechterhaltung dieser Stellung erfolgt durch die, das gelenküberziehenden, antagonistischen Muskeln und deren Drehkraft Verhältnisse. Das Gelenk befindet sich somit in einer arthro-muskulären Balanceposition (Abb. 12). Voraussetzung hierfür ist ein einwandfrei funktionierendes Muskel- und Nervensystem. Allerdings kann bei jedem Menschen die Muskelbalance unterschiedlich ausgeprägt sein und sich die Muskelaktivität jederzeit an die aktuell gegebenen Bedürfnisse anpassen (vgl. LINDEL 2006).

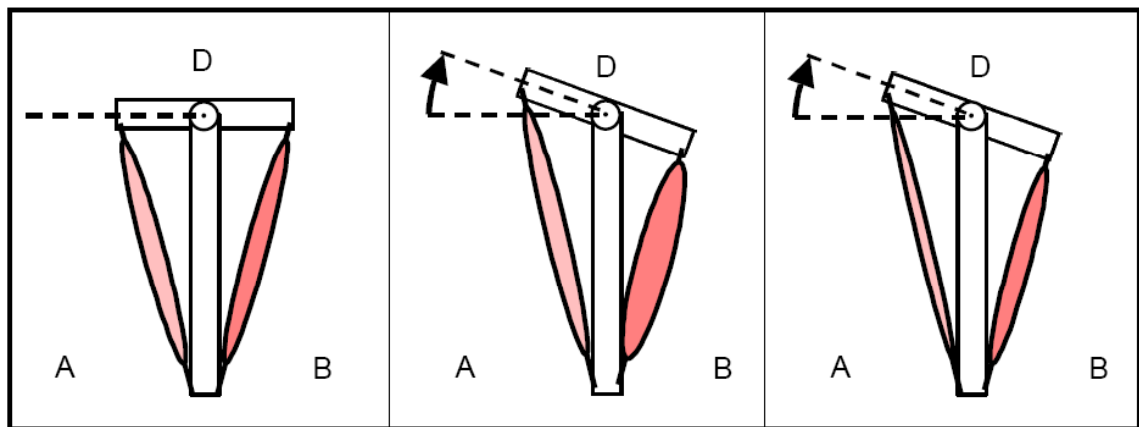


Abbildung 12: Schematische Darstellung des Zustandes einer muskulären Balance und Dysbalance (aus: KLEE 1995A, S. 14). Auf der linken Abbildung ist der Zustand einer muskulären Balance dargestellt. Die antagonistischen Muskeln A und B halten durch ihr Verkürzungsverhältnis das um den Drehpunkt D drehbare Gelenk im Gleichgewicht. Die mittlere Abbildung zeigt eine muskuläre Dysbalance durch Muskelverkürzung. Der Muskel B hat sich einem spezifischen Reiz mit einer höheren Spannung angepasst. Muskel A ist keinem Reiz ausgesetzt worden, seine Spannung bleibt gleich. Das Verkürzungsverhältnis hat sich verändert, die muskuläre Balance ist gestört. Auf der rechten Abbildung ist eine muskuläre Dysbalance durch Muskelverlängerung zu erkennen. Der Muskel A hat sich einem spezifischen Reiz mit einer niedrigeren Spannung angepasst. Muskel B ist keinem Reiz ausgesetzt worden, seine Spannung bleibt gleich. Das Verkürzungsverhältnis hat sich verändert, die muskuläre Balance ist gestört.

Durch Einflüsse, wie Traumata und Immobilität, wird diese Balance gestört und es treten Dysbalancen auf (Abb. 12). Hierbei wirken negative Kräfte, die zu Verschleißerscheinungen am Gelenk führen können (vgl. KLEE 1995B). So dominieren uneffektive und belastende Bewegungsabläufe. Die Folge sind Abweichungen des Muskeltonus, strukturelle Veränderungen des Gewebes, Ungleichgewicht zwischen den wirkenden Agonisten und Antagonisten an den Gelenken sowie zwischen den Muskeln in der Muskelschlinge. (vgl. LINDEL 2006, ZIPPRICH 2005). Zudem treten Störungen zwischen

linker und rechter Körperseite sowie Störungen linker und rechter Extremitäten auf (vgl. ZIPPRICH 2005).

In Bezug auf die Leistungsfähigkeit beschreibt VAN DE VELDE (1995) den Begriff der *muskulären Dysbalance* als ein Defizit der konditionellen Faktoren im Bereich der Beweglichkeit, Kraft und Koordination. Demzufolge wird die Belastbarkeit des Bewegungsapparates herab gesetzt und es kommt zwangsläufig zu einer körperlichen Leistungsminderung.

Muskelfasern werden je nach Neigung unterschieden (Tab. 1) in einen tonischen, posturalen Typ, der zur Verkürzung neigt, und einen phasischen Typ, der zur Abschwächung neigt (vgl. LINDEL 2006). Die posturalen Muskelgruppen tendieren unter bestimmten Bedingungen zu einer Tonuserhöhung mit der Folge einer Muskelverkürzung. Phasische Muskelgruppen hingegen tendieren zu einer Tonusminderung mit einer Reduktion der Kraftfähigkeit. Der Vorgang stellt eine normale physiologische Reaktion durch Veränderung dar, mit dessen Hilfe der menschliche Körper seine arthro-muskuläre Einheit verändern kann (vgl. WYDRA 2000). Im menschlichen Körper liegen ausschließlich Mischformen vor. Trotzdem kann eine Unterscheidung bei gewissen Muskeln aufgrund ihrer Reaktion auf Fehl- und Überbelastungen vorgenommen werden (vgl. VAN DE VELDE 1995).

Tabelle 1: Verteilungsmuster der in der Muskulatur vorkommenden Fasertypen (nach: LINDEL 2006, S.19)

Verteilungsmuster der Muskulatur	
Überwiegend Typ I (ST)-Fasern (tonisch, postural)	Überwiegend Typ II (FT)-Fasern (phasisch)
Schultergürtel und obere Extremitäten	
<i>M. pectoralis major</i>	<i>Mm. rhomboidei</i>
<i>M. levator scapulae</i>	<i>M. trapezius, Pars ascendens und Pars transversa</i>
<i>M. trapezius, Pars descendens</i>	<i>M. triceps brachii</i>
<i>M. biceps brachii</i>	
<i>Mm. Scaleni</i>	
Rumpf	
<i>M. erector spinae (lumbal und zervikal)</i>	<i>M. erector spinae (thorakal)</i>
<i>M. quadratus lumborum</i>	<i>Mm. abdomines</i>

Becken und untere Extremitäten	
<i>M. biceps femoris</i>	<i>M. gluteus maximus</i>
<i>M. semitendinosus</i>	<i>M. gluteus medius</i>
<i>M. semimembranosus</i>	<i>M. gluteus minimus</i>
<i>M. iliopsoas</i>	<i>M. vastus medialis</i>
<i>M. rectus femoris</i>	<i>M. vastus lateralis</i>
<i>Mm. adductores longus, brevis und magnus</i>	<i>M. tibialis anterior</i>
<i>M. gracilis</i>	<i>Mm. peronei</i>
<i>M. piriformis</i>	<i>M. tensor fasciae latae</i>
<i>M. gastrocnemius</i>	<i>M. soleus</i>

In den 1990er Jahre wurde der Begriff der *neuromuskulären Balance* und *Dysbalance* von FREIWALD & ENGELHARDT eingeführt. Sie begründen ihre begriffliche Weiterfassung und Differenzierung darauf, dass die Muskulatur nervös angesteuert und dass auf jede Veränderung der Muskulatur und der zugeordneten Gelenke mit einer entsprechenden Veränderung des innervierenden Systems reagiert wird. Neben der nervösen Ansteuerung erhält die Muskulatur zusätzlich Informationen über den internen Zustand des biologischen Systems, welche über interneuronale Verschaltungen auf die zentrale Ansteuerung Einfluss nehmen. Als weitere beeinflussende Faktoren kommen individuelle, psychische und soziale Aspekte hinzu. Dabei stehen das Nerv-Muskel-System, das Bindegewebe und das humorale System in einem untrennbaren Funktionszusammenhang (vgl. ENGELHARDT & FREIWALD 1996, FREIWALD & ENGELHARDT 1996, 1999).

Die Muskulatur adaptiert schnell an trainings- und umweltbedingte Einwirkungen, was nicht immer den für eine optimale Leistungsfähigkeit geltenden Normwerten entspricht. Diese biologischen Grundsätze gelten auch für die Entstehung neuromuskulärer Dysbalancen. Neuromuskulären Dysbalancen entstehen gerade im Hochleistungssport in Sportarten mit ontogenetischer Entwicklung und einseitiger Trainingsbelastung mit Spezialisierungen auf bestimmte Bewegungen oder Positionen (z.B. im Volleyball beim Zuspieler) und Sportarten mit hohem Trainingsaufwand. Im Vergleich dazu sind neuromuskuläre Dysbalancen bei Sportarten mit natürlichen eher phylogenetisch angelegten Bewegungen seltener vorzufinden. Mit der sportlichen Leistungsfähigkeit steigt die tendenziell größere Einseitigkeit der Belastungen. In vielen Bereichen ist eine einseitige

neuromuskuläre Anpassung aber nötig, um Leistungen im Spitzenbereich zu erbringen. Trainer sollten daher zwischen wünschenswerten, trainingsbedingten und leistungsvoraussetzenden Adaptationen und nicht wünschenswerten Veränderungen mit schädlicher Wirkung auf den Körper der Sportler unterscheiden können und die Trainingsplanung entsprechend vornehmen (vgl. FREIWALD & ENGELHARDT 1996, 1999).

Genauso fließend wie die Grenzen zwischen gesundheitsförderndem und krankmachendem Training sind verschiedenen Definitionen des Begriffs muskuläre Dysbalance im Umlauf. Eine Besonderheit stellt die Definition von FREIWALD & ENGELHARDT (1999) dar, da diese versucht, die Definition in den Bezug zum Sport zu stellen. Sie fasst zudem die wesentlichen Fakten zusammen:

„Die neuromuskuläre Balance im Sport ist durch eine an die spezifischen Anforderungen gebundene Verschiebung der Homöostase mit physiologischer Potenz gekennzeichnet. Davon betroffen sind die nervösen und/oder humoralen Funktionen und sekundär die Strukturen der arthronalen Systeme bzw. das gesamte biologische System. Die physiologische Verschiebung der Homöostase ist instabil und an die dafür verantwortlichen Trainingsreize gebunden. Erst wenn die durch Trainingsreize modifizierte arthro-neuromuskuläre Beziehung beschwerdeverursachend, strukturschädigend oder leistungseinschränkend wirkt, kann von einer neuromuskulären Dysbalance gesprochen werden“ (FREIWALD & ENGELHARDT 1999, S.48).

3.2 Haltungstraining

Haltungstraining wird in der Literatur auch als Stabilisationstraining oder als sensomotorisches Training beschrieben. BRUHN (2003) hebt die besondere Relevanz des dabei wirkenden sensomotorischen Systems beim Zustandekommen koordinativer Leistungen dadurch hervor, dass er eine solche Trainingsform als sensomotorisches Training bezeichnet. Ein solches Training findet bereits eine breite Anwendung in der Rehabilitation von Verletzungen, vor allem der unteren Extremitäten. RUEDL (2007) nennt neben dem Aspekt der Rehabilitation und Prävention noch den der sportartspezifischen Gleichgewichtsfähigkeit, die Verletzungsprophylaxe und Leistungssteigerung.

„The target of a sensorimotor training is to improve functional joint stability and postural stabilisation in an rehabilitative or injury preventive sense. [...] The effects of sensorimotor training have to be seen in contrast to the effects of traditional strength training. Both training methods result in specific effects. [...] The transferability of these training effects on different movements task was a major topic“ (BRUHN ET AL. 2004, S. 56).

Diese Aussage wird durch zahlreiche Untersuchungen, welche die Wichtigkeit und Wirksamkeit eines solchen Trainings zur Prävention, v.a. in Sportarten mit hoher Verletzungsanfälligkeit der Gelenke, wie z.B. Volleyball, belegt (vgl. BRUHN 2006). Zur Steigerung der Leistungsfähigkeit müssen neuronale und muskuläre Prozesse positiv

verändert werden. Infolgedessen müssen die neuromuskulären Afferenzen, wie etwa die Propriozeptionsfähigkeit, in adäquater Weise funktionieren. Das System wird darauf trainiert, schneller auf Veränderungen der vorherrschenden inneren und äußeren Bedingungen, beispielsweise durch externe Lasten ausgelöste Änderungen der gelenkwirksamen Drehmomente oder interner Spannungsänderungen von Muskeln, Sehnen und Bändern, zu reagieren (vgl. MÜLLER 1997).

Muskeln, die der gewünschten Bewegung entgegenwirken (Antagonisten), sollen nur soweit aktiviert werden, wie es für die Stabilisation der betroffenen Gelenke notwendig ist. Zudem sollen zusätzliche neuromuskuläre Funktionseinheiten rekrutiert werden, um eine bessere synergistische und kraftsparende Koordination zu erreichen. Weiterhin sollen überflüssige Kokontraktionen vermieden werden, welche unnötig Energie verbrauchen und die inneren Gelenkkräfte und damit die Gelenkbelastungen steigern, ohne effektiv am „Output“ (MÜLLER 1997, S. 212) beteiligt zu sein. Außerdem wird durch das Haltungstraining die Kraftausdauerfähigkeit gefördert, besonders bei Muskelgruppen, die verstärkt zu einer Abschwächung neigen (vgl. MÜLLER 1997). Nach JANDA (2000) sind dies die ventrale Halsmuskulatur, die gerade und schräge Bauchmuskulatur (*M. rectus abdomines* und *M. obliquus abdomines interior et anterior*), die thorakalen Rückenstrecker mit dem mittleren und unteren Teil des *M. trapezius*, die Gesäßmuskulatur, v.a. *M. gluteus maximus* und *medius*, und der *M. vastus medialis* des *quadrizeps femoris* (Abb. 13).

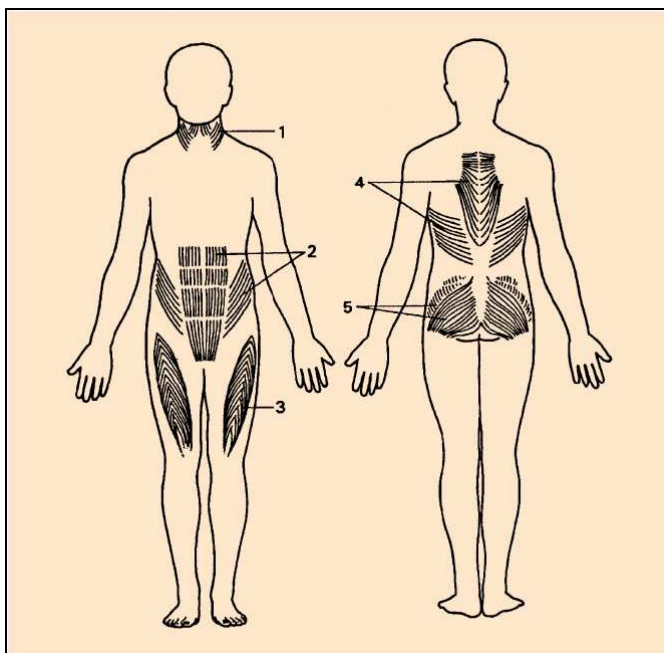


Abbildung 13: Darstellung der Muskeln mit starker Tendenz zur Abschwächung (aus: MÜLLER 1997, S. 211). Auf der linken Abbildung werden mit (1) die ventrale Halsmuskulatur (*M. scaleni*, *M.*

longus colli, *M.rectus capitis ant.*) und mit (2) die schräge und gerade Bauchmuskulatur (*M. rectus* und *M.obliqui abdominis*) sowie als (3) der mediale Teil des *M. quadripis femoris* dargestellt (*Mm.vastus medialis et intermedius*). Auf der rechten Seite erkennt man unter (4) die thorakalen Rückenstrecker mit dem mittleren und unteren Teil des *M. trapezius* (*Pars transversa et ascendens*) und unter (5) die Gesäßmuskulatur (*Mm. glutaiei medius et maximus*).

BRUHN (2006) erachtet ein Kraft- und Haltungstraining als sinnvoll, weil eine sensorische Rückmeldung während des Trainings dazu führen kann, dass die Ansteuerung der Muskulatur durch eine bessere intramuskuläre Koordination besser möglich wird und damit eine äußere Reizung eine adäquate motorische Antwort erfahren kann. Die sensorische Wahrnehmung kann in den einzelnen Gelenksystemen für eine bessere Verarbeitung der auf das Gelenk einwirkenden Reize reagieren und eine entsprechende Reizantwort geben. Daraus folgt eine Verbesserung der aktiven Gelenkstabilisation und damit auch des Stands. Untersuchungen von GRUBER & GOLLHOFER (2004) bestätigen den positiven Einfluss eines Kraft- und Haltungstrainings auf die intramuskuläre Koordination.

Durch ein gezieltes sensomotorisches Training können auch nach JEROSCH (2007) Leistungsverbesserung, die Verbesserung der Sensomotorik, die Erhöhung der Gelenkstabilität, der Bewegungssicherheit, der Bewegungsökonomie erreicht werden. Er begründet diesen Effekt aus einer verstärkten Aktivierung der Propriozeptoren und einer damit gekoppelten Verbesserung der Bewegungs-, Stellungs- und Kraftsinne sowie der neuromuskulären Reaktionsfähigkeit mit der Folge einer Verbesserung des Gleichgewichtsvermögens und der Bewegungsqualitäten.

3.2.1 Training der Muskelkraft

Nahezu in allen Sportarten dient ein Training der Muskelkraft der Verbesserung des sportlichen Leistungsvermögens. Es wird insbesondere in Sportsportarten über eine Effektivierung und Perfektionierung technisch-konditioneller Fähigkeiten erreicht. Außerdem spielt das Muskelkrafttraining eine zunehmend starke Rolle bei der Prävention von Sportverletzungen und Sportschäden; denn eine gut ausgebildete Muskulatur im Extremitäten- und Rumpfbereich verspricht einen außerordentlich guten Schutz vor mechanischer Überbelastung. Schließlich wird ein Krafttraining auch dazu verwendet, um Folgen einer einseitigen Belastungen in Form von sportartspezifischen Muskeldefiziten sowohl im Interesse der Überbelastungsprävention als auch der Leistungsverbesserung zu kompensieren (vgl. WEINECK 2000, s. Kap. 4).

Um eine sportliche Leistungsverbesserung durch ein Krafttraining erreichen zu können, muss zunächst geklärt werden welche Kraftqualität (Maximalkraft, Schnellkraft, Kraftausdauer) erzielt werden soll. Anschließend werden je nach Trainingszustand die erforderlichen oder gewünschten Erscheinungsformen der Kraft (Abb. 14), die mit den Anforderungen des Trainings der Sportart und gegebenenfalls mit den muskulären Schwachstellen des Sportlers übereinstimmen, ausgewählt.

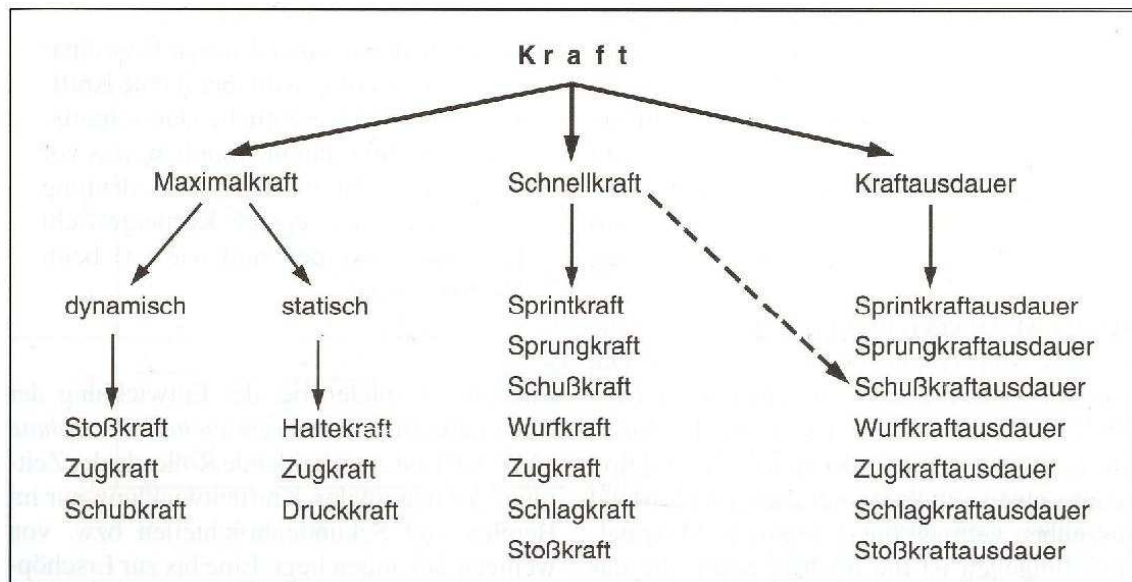


Abbildung 14: Die Kraft und ihre verschiedenen Kraftfähigkeiten und Erscheinungsweisen (aus: WEINECK 2000, S. 237). Die Kraft wird in Maximal-, Schnellkraft und Kraftausdauer sowie weitere Unterkategorien eingeteilt.

Gleichzeitig soll entschieden werden, wie der angestrebte Kraftzuwachs zustande kommen soll entweder durch Muskelquerschnittszunahme, durch neuromuskuläre Funktionsverbesserung oder einer Kombination aus beidem. Infolgedessen muss festgestellt werden, ob die Bewegungsrichtung der Übungen mit dem disziplinspezifischen Bewegungsablauf bei einem speziellen Krafttraining korrelieren (vgl. EHLENZ ET AL. 2003).

Die genannten Trainingsziele lassen sich in zwei übergeordnete Bereiche fassen: zum einen die komplexe Kraftentwicklung, die ein Basistraining beschreibt, welches eine allgemeine, allseitige und umfassende Kräftigung der Muskulatur von Rumpf, Schulter- und Beckengürtel sowie der Extremitäten als Ziel verfolgt, zum anderen eine differenzierte Kraftentwicklung. Hierbei werden vorwiegend Muskeln und Muskelgruppen gekräftigt, die für die jeweilige Sportart leistungsbestimmend sind. Durch ein solches Training kann aufgrund der Nichtbeanspruchung der gesamten Körpermuskulatur ein schnellerer und höherer Kraftanstieg gegenüber dem komplexen Krafttraining verzeich-

net werden, allerdings wird hier aber der gesundheitliche Aspekt vernachlässigt (vgl. EHLENZ ET AL. 2003).

3.2.2 Veränderungen der Muskelkraft durch Krafttraining

Eine Steigerung der Muskelkraft ist das Ergebnis einer verstärkten Rekrutierung, Frequentierung und Synchronisation der motorischen Einheiten, eine verbesserte inter- und intramuskuläre Koordination und eine Muskelhypertrophie (vgl. WEINECK 2000). Das Vermögen des Nerv-Muskel-Systems, ständig neue, noch nicht aktivierte, motorische Einheiten zu einer Kontraktion heranzuziehen, wird als Rekrutierung bezeichnet. Dieser, auch als räumliche Summation bezeichnete, Prozess bestimmt zusammen mit der Impulsfrequenz die Kontraktionskraft. Eine Steigerung kann durch eine Änderung der Entladungsfrequenzen rekrutierter Einheiten erfolgen (zeitliche Summation). Dabei verläuft der Prozess nach dem Prinzip: je höher die Frequentierung, desto größer ist die Zahl der zu rekrutierenden Einheiten. Außerdem läuft der Prozess nach einem festgelegten Rekrutierungsprinzip ab. Die motorischen Einheiten werden immer in gleicher Reihenfolge aktiviert (vgl. WEINECK 2009, WERNER 2006).

In diesem Zusammenhang wird die Wichtigkeit des Frequenzverhaltens deutlich. Während einer konstant gehaltenen Kraft nimmt die elektrische Aktivität gleichmäßig zu. Im Verlauf der Ermüdung der motorischen Einheiten kommt es zu einer Veränderung im Frequenzverhalten. Es werden zunehmend niederfrequente Anteile der Muskulatur aktiviert. Dadurch kann die Kraft über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten werden. Bei einem Training kommt es zu einer parallelen Zunahme der aktivierten, motorischen Einheiten wobei gleichzeitig deren Innervationsfrequenz erhöht wird (vgl. DE MARÉES 2003, WEINECK 2000, WERNER 2006).

Nach WERNER (2006) können durch ein gezieltes Training die einer effektiven Impulsweiterleitung entgegenstehenden hemmenden oder blockierenden Prozesse minimiert werden. Dadurch wird eine synchrone Aktivierung vieler motorischer Einheiten realisierbar.

Für einen optimalen Bewegungsablauf ist es notwendig, die beteiligten Muskelgruppen entsprechend zu koordinieren. Die daraus resultierende Ökonomisierung von Bewegungen beugt nicht nur Verletzungen vor, sondern verhindert auch unnötige Nebenbewegungen, sodass die vom Muskel oder Muskelgruppen entwickelte Kraft ausschließlich für die auszuführende Bewegung genutzt werden kann. Durch Krafttraining verbessert

sich nicht nur das Zusammenwirken verschiedener Muskeln, die an einer Bewegung beteiligt sind, sondern auch das Wirken des Nerv-Muskel-Systems innerhalb eines Muskels wird verbessert. Dabei ist das Wechselspiel zwischen Muskel und Nerv in Bezug auf den Einsatz und die Belastungsgrößen der motorischen Einheit durch Rekrutierung und Frequenzierung kennzeichnend. Mit Hilfe eines Trainings wird die Fähigkeit zu einer schnellen Mobilisation der Innervationsaktivität verbessert (vgl. WEINECK 2000, WERNER 2006).

Nach WERNER (2006) laufen diese Prozesse übergreifend und niemals unabhängig voneinander ab. Zwischen der Frequenzierung und Rekrutierung sowie der daraus resultierenden verbesserten Synchronisation und der effektiveren Nutzung der Innervationsfähigkeit, somit auch der intra- und intermuskulären Koordination besteht ein enger Zusammenhang. Diese Prozesse sind für die Kraftentwicklung verantwortlich und lassen sich alle durch einen gezielten Einsatz entsprechender Trainingsmethoden verbessern.

3.3 Konzeptionsgrundlagen

3.3.1 Förderliche Elemente eines Kraft- und Haltungstrainingskonzepts

Nicht nur im Sport sondern auch im Alltag müssen Fehlhaltungen und Ausweichbewegungen mit entsprechenden Muskeldysbalancen im Bereich der Wirbelsäule, des Becken- und Schultergürtels mit den unteren und oberen Extremitäten als Schlüsselursache von Überbelastungen und Verletzung betrachtet werden. Dazu bietet die Physiotherapie ganzheitliche Handlungsansätze, die jeweiligen Probleme zu lösen: Der Krankengymnastik nach Vojta, Brügger, Bobath, Brunkow, der Alexander-Technik, Pilates, dem Feldenkrais ist gemeinsam, dass der Stabilität des Rumpfes sowie des Kopfes in einer bestmöglichen Aufrichtung die Schlüsselaufgabe zur Beherrschung von Bewegungen des gesamten Haltungs- und Bewegungsaufgabe zukommt. Sie unterscheiden sich von verschiedenen anderen Therapieformen aber auch von Interventionsansätzen wie sie bisher auch im Sport (vgl. u.a BRUHN) zur Korrektur und Kompensation von Haltungs- und Bewegungsproblemen verwendet werden. Sie enthalten alle die Kernforderung nach einer bestmöglichen aufrechten Haltung und Körperstabilität (vgl. FISCHER 2010, BERSCHIN 2011, s. Tabelle 14).

Tabelle 2: Basis der Marburger Haltungsschule (mod. nach BERSCHIN 2011, S. 147)

Technik	Kerngedanke
Alexander (1890-1900)	<ul style="list-style-type: none"> - Kopfsteuerung - Methodik der Intervention - Ganzkörperaufrichtung
Pilates (1920er)	<ul style="list-style-type: none"> - Rumpf als Basis - Besondere Bedeutung von Becken- und Schultergürtelstabilisation für Extremitätenbewegung
Feldenkrais (1940er-1950er)	<ul style="list-style-type: none"> - Sensomotorisches Lernen - Ganzheitliches Konzept - Methodisches Vorgehen
Brunkow (1965-1975)	<ul style="list-style-type: none"> - gezieltes Auslösen und Verwenden der Stützreaktion - Rumpfaufrichtung - Gelenkstabilisation durch Kokontraktion - Ganzkörperspannung durch Muskelsynergien
Vojta (1950-1970)	<ul style="list-style-type: none"> - Haltung als Voraussetzung von Bewegung - gezieltes Auslösen und Benutzen von motorischen Reaktionen
Brügger (1950-1960)	<ul style="list-style-type: none"> - Muskeldysfunktion ist Folge ungünstiger Körperhaltung - Ubiquitäre Haltungsschulung

Insbesondere Alexander, Brunkow, Vojta erkennen eine eindeutige Wechselbeziehung zwischen Rumpfhaltung und Bewegung erkennen dazu die Kopfhaltung als den Schlüssel zur Korrektur einer ggf. zu korrigierenden Fehlhaltung und gestörten Bewegung. Abweichungen von der Idealhaltung, das heißt von der bestmöglichen Aufrichtung führen zu Funktionsstörungen nicht nur in diesem Bereich sondern auch der Extremitäten. Folgerichtig fordern sie eine Intervention im Kopf- und Rumpfbereich um auch Probleme in der Peripherie zu lösen. Die aktive Einnahme einer bestmöglichen Kopf- und Rumpfaufrichtung im Liegen oder auch im Stand garantiert die Aktivierung elementarer

hirnstammgesteuerter Stellreflexe und physiologischer Muskelschlingenaktionen ohne eine willentliche Einwirkung (vgl. BERSCHIN 2011, FISCHER 2010, SOMMER 2010).

Lassen sich im Säuglingsalter Haltungsmuster auch noch reflektorisch korrigieren, so bedarf es im Jugend- und Erwachsenenalter der willentlichen Haltungskorrektur und der steten Haltungskontrolle durch Selbstwahrnehmung; denn es geht darum, Haltungsfehler früh zu erkennen und ein Gefühl für die bewusste aktive Veränderung zu bekommen. Abhängig von der Kopf- und Wirbelsäulenhaltung lassen sich wiederum ohne eine willentliche Einwirkung Stütz- und Greifreaktion erwarten, die stets in Kokontraktion der Streck- und Beugemuskulatur im Sinne einer optimalen Haltungs- und Bewegungskontrolle und Stabilität stattfinden. Die sensible Informationen, welche über die sensorischen Systeme (vestibulär, okulär und taktil) und die Gesamtheit der Propriozeptoren registriert und verarbeitet werden, erlauben die Eigenkontrolle von Körperhaltung und -bewegung (vgl. BERSCHIN 2011, FISCHER 2010, SOMMER 2010).

„Ziel der [...] Haltungskonzepte ist die Fähigkeit zur Einnahme und Beibehaltung einer funktionalen, aufrechten und stabilen Haltung als Basis für eine optimale Koordination und freie, gelöste Steuerung aller Bewegungsabläufe.“ (FISCHER 2010, S. 195)

Unter Berücksichtigung der individuell unterschiedlichen Hebelbedingungen soll diese Haltung den Merkmalen der Aufrichtung, der Stabilität und der Bewegungsmöglichkeiten bestmöglich genügen. In Einigkeit mit den Techniken von Alexander und Feldenkrais dienen dazu die Schritte der Haltungswahrnehmung, der Haltungsbewusstmachung und der einzelnen sukzessiven Korrekturen der Skelett- und Gelenkhebelstellung (vgl. BERSCHIN 2011).

Das finale Anliegen des Ansatzes ist eine definierte Grundhaltung im Stand. Es besteht ein mechanischer Wirkungszusammenhang, d.h. eine gegenseitige Beeinflussung der Gelenkstellung zwischen Kopf, Rumpf und Becken. Die angestrebte Körperhaltung wird unter Einbezug der Halswirbelsäulen- und Kopfhaltung durch eine Haltungskorrektur des Beckens erreicht (vgl. BERSCHIN 2011, FISCHER 2010).

Die Wirkungsrichtung der Primärsteuerung von Kopf über den Rumpf zum Becken ist von großer Bedeutung. Hierbei ist die Position des Beckens die zentrale Schlüsselhaltung für den Rumpf, wobei die im Haltungstraining angestrebte Beckenhaltung einer ventralen Aufrichtung des Beckens entspricht, da eine Beckenabkippung nach ventral eine verstärkte, überlastungsträchtige Lendenlordose erzeugt. Das Becken soll muskulär unter Einbeziehung der gesamten Bauchmuskulatur und einer dagegen gespannten Rü-

ckenmuskulatur aufgerichtet werden (vgl. BERSCHIN 2011, FISCHER 2010, FISCHER & SOMMER 2006, SOMMER 2010).

Aus Sicht der Biomechanik und der unwillkürlichen Motoriksteuerung ist eine ausreichend aufgerichtete Lendenwirbelsäule die Ausgangsvoraussetzung für eine optimale Körperhaltung. Insofern ist für das Kraft- und Haltungstraining eine kurze Betrachtung der neurophysiologischen Aspekte für Haltung unumgänglich (vgl. BERSCHIN 2011, SOMMER 1988, SOMMER ET AL. 1987).

Die Wahrnehmung spezifischer Reize an der Körperoberfläche erfolgt zum einen über die Einnahme von definierten Körperhaltungen zum anderen über die dazu erforderliche Muskelanspannung. Die gesamte Streckerschlinge wird gespannt und bewirkt zwangsläufig reflektorisch eine Anpassung des Spannungszustandes der Beugerschlinge. Entsprechend bewirkt eine aktive Becken- und Wirbelsäulenaufrichtung eine Neuabstimmung des Spannungs- und Kontraktionszustandes der Rumpf- und Kopfaufrichtenden Streck- und Beugemuskulatur in Kokontraktion. Überall im Körper entsteht ein zunehmendes Spannungsgefühl, was wiederum die Wahrnehmungsfähigkeit des gesamten Körpers mit seiner Haltung im Raum begünstigt. Es gelten demnach die Haltungsanforderungen einer aktivierten Bauchmuskulatur, eines aufgerichteten Beckens, einer aufgerichteten Brustwirbelsäule sowie eines gewölbten Nackens. Die Stabilisierung der Extremitäten in definierter Haltung entgegen einem imaginären Widerstand führt zu einer Zunahme der zur Wahrung der Körperhaltung erforderlichen Muskularbeit (vgl. BERSCHIN 2011, FISCHER 2010, FISCHER & SOMMER 2006, SOMMER 2010).

3.3.2 Grundlage des Trainingskonzepts – Marburger Haltungsschule

Aus den v.a. von Alexander, Brunkow und Vojta geforderten Haltungsmaximen von Wirbelsäule und Kopf wurden von BERSCHIN (2010), ELLENBERGER (2008), FISCHER (2010), SOMMER ET AL. (1987) verschiedenen Trainingsinterventionen zur Korrektur von Haltung und Bewegung entwickelt und in Bezug auf deren Anwendbarkeit, Akzeptanz und Wirksamkeit im Alltag und Sport evaluiert. Die Gesamtheit dieser Interventionen firmiert inzwischen unter Marburger Haltungsschule. Sie dient als Grundlage für die Trainingsintervention im Rahmen dieser Arbeit und verfolgt die Maxime der positiven Beeinflussung auf Körperhaltung und -bewegung über eine optimierte Rumpf- und Kopfaufrichtung und Befähigung zur optimierten Stell-, Stütz- und Greifreaktion. Dabei erlaubt das angewandte, statisch orientierte im Gegenspannungsprinzip von Streck- und Beugeschlinge arbeitende Trainingskonzept eine exzessiv zu steigende Belastungs-

tensität. Korrekt angewandt sind Überbelastungsprobleme und für ermüdende Muskelbelastungen typische unphysiologische Muskelverkürzungen nicht nur auszuschließen sondern auch zu beheben (vgl. BERSCHIN 2010, BERSCHIN 2011, ELLENBERGER 2008, FISCHER 2010, SOMMER ET AL. 1987).

Als Ziele werden sowohl eine verbesserte Rumpfmuskelkraft und damit einhergehende erhöhte Körperstabilisation sowie Gleichgewichtsfähigkeit, als auch eine optimiertes sensomotorisches Haltungs- und Bewegungsprogramm formuliert (vgl. FISCHER 2010). Schlussfolgernd vereint das Trainingskonzept die Ziele eines Haltungs- und Krafttrainings in einer Methode.

3.3.3 Trainingskonzept

Das Trainingskonzept besteht aus mehreren Modulen, in denen sich die Zeit und die Länge der Übungen verändern bzw. verschieben. Durch den Einbezug des gesamten Haltungs- und Bewegungsapparates erfüllt es die wichtigsten Anforderungen an ein adäquates Haltungstraining. Es ist in Anlehnung an die Marburger Haltungsschule erarbeitet worden mit dem Ziel, durch die Übungen die Haltung zu verbessern. Das Trainingskonzept stellt eine Kombination aus Altbewehrtem und neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen dar.

Als Maxime einer optimalen Haltung gilt die aktiv entlordosierte Lendenwirbelsäule mit einer korrespondierenden Becken- und Brustwirbelsäulenaufrichtung und somit gleichzeitigen Gegenspannung der Rückenmuskulatur mit nach caudal und zur unteren Brustwirbelsäule gezogenen Schulterblättern. Die im Gegenspannungsprinzip arbeitenden Muskelgruppen werden durch die Haltungsvorgabe in optimaler Form koordiniert und in dem Maße intensiver trainiert in dem sie umfassender mit allen Hilfsmuskeln aktiviert werden. Die damit erreichte Ganzkörperspannung vermittelt gleichzeitig das Körpergefühl das über die Haltungswahrnehmung erlaubt diese ständig zu korrigieren (vgl. FISCHER 2010, FISCHER & SOMMER 2006).

Die besonders hohen Anforderungen an die Koordinations- und Kraftfähigkeit der Probanden erfordern ein spezifisches und besonders systematisches Vorgehen (vom Einfachen zum Komplexen und vom Leichten zum Schweren). Weil die koordinative Anforderung dieses Haltungstrainings von der Rücken- über die Bauchlage zum bipedalen Stand zunimmt, wird in dieser Reihenfolge das Training aufgebaut und die Trainingsin-

tensität durch die Einbeziehung von Extremitätenwiderständen gesteigert (vgl. FISCHER 2010).

Die Übungen in Rückenlage werden mit aufgestellten Beinen durchgeführt; um die regelhafte Verkürzung des *M. iliopsoas* zu kompensieren. Abhängig von der entwickelten Aufrichtungsfähigkeit werden nach einigen Haltungstrainingseinheiten in Rückenlage mit steigenden Umfängen die Übungen in Bauchlage in das Trainingsrepertoire einbezogen. Die Bauchlageübungen erfordern wegen des geringeren v.a. knöchernen Widerlagers ein bereits existierendes sehr gutes Aufrichtungsgefühl für die Wirbelsäule. Neben der Bauch- und der Rückenmuskulatur sind dabei, stärker als in der Rückenlage, die Stabilisatoren der Schulterblätter, insbesondere der *M. trapezius pars ascendens* zusammen mit den *Mm. rhomboideus* und *M. quadratus lumborum* gefordert (vgl. SOMMER 2010).

Erfahrungsgemäß ist die zentrale Aufgabenstellung – im bipeden Stand eine gleichzeitige Aufrichtung der Lenden- und Brustwirbelsäule – nicht von Anfang an zu bewältigen. Deswegen wird das Haltungstraining zunächst in Rücken- und dann in Bauchlageübung vorbereitet, bevor es im bipeden Stand fortgeführt wird. Der Schwierigkeitsgrad ist im Stand am höchsten, da hier immer gegen imaginäre Widerstände gearbeitet werden muss. Die Kontaktzonen mit dem Untergrund beschränken sich, im Gegensatz zu den Übungen in Bauch- und Rückenlage, ausschließlich auf die Füße (vgl. FISCHER 2010, FISCHER & SOMMER 2006).

Die geforderte Haltearbeit verläuft bei den Basisübungen überwiegend isometrisch. Bei den weiterführenden Übungen werden sowohl isotone als auch auxotone Kontraktionsformen einbezogen. Aus einer definierten Haltung mit einer entsprechenden isometrischen Vorspannung, erfolgt eine konzentrische Kontraktion mit einer stets durch antagonistischen Kokontraktion gekennzeichneten Bewegung so lange, bis die angestrebte Rumpf- und Extremitätenstellung erreicht ist. Das Halten der angestrebten Position wird mit einer Haltungskontrolle über die Kokontraktion und über entsprechende isoton- auxotone, exzentrische Muskelarbeit erzielt. Schließlich wird vor der Auflösung der Ausgangshaltung die dafür erforderliche isometrische Muskelspannung gegebenenfalls korrigiert, bis letztendlich die definierte Haltung erreicht wird. Grundsätzlich aber gilt, dass der Aufbau der Muskelspannung für die Ausgangsstellung, die kontrollierte dynamisch-konzentrische und dynamisch-exzentrische Bewegung sowie das Auflösen der

Ausgangsspannung langsam und keinesfalls abrupt ablaufen soll (vgl. FISCHER 2010, FISCHER & SOMMER 2006).

Neben der als Grundlage bereits vorgestellten Marburger Haltungsschule, ist das Trainingskonzept der Studie durch periphere Widerstände erweitert. Die Belastungssituationen der Probanden sind durch Volleybälle als Widerstände nur in dem Maße zugelassen, in denen die Rumpfhaltungsmaxime und das Gegenspannungsprinzip bis in die Muskeleermüdung gewahrt bleiben.

Eine der wichtigsten Aspekte bei der Umsetzung des Trainingskonzepts ist, dass die Übungseinheiten immer regelmäßig absolviert werden. Gerade bei einem Stabilisations- und Krafttraining sind Fortschritte ausschließlich durch ständiges Wiederholen und Korrigieren der Übungen zu erwarten (vgl. FÖRSTER 2007). Insofern soll das Kraft- und Haltungstraining jedes Mal zu Beginn des jeweiligen Mannschafts-, Jugend- oder Kadertrainings durchgeführt, ist von einer Dauer von etwa 15-20 Minuten und soll mindestens dreimal pro Woche stattfinden. Die Dauer und Häufigkeit der einzelnen Trainingseinheiten der Probanden wird mit Hilfe eines Trainingsprotokolls festgehalten und überprüft.

Das Training gliedert sich in den Basistrainingsteil und den Teil mit volleyballspezifischen Übungen. Am Anfang der Trainingsphase findet das Basistraining mit den dafür speziellen Übungen statt. Es ist die Grundlage für das Erlangen der nötigen Rumpfstabilität, auf die im Anschluss die volleyballspezifischen Übungen folgen und richtig ausgeführt werden können. Die Übungen des Basisteils haben zunächst einen Umfang von 30 Sekunden und werden im Verlauf der Trainingsphase bis auf eine Minute gesteigert. Dabei wird das Grundlagentraining allmählich gekürzt und durch die darauf aufbauenden volleyballspezifischen Übungen nach und nach ersetzt.

Die volleyballspezifischen Übungen haben zuerst einen Umfang von maximal zehn Wiederholungen. Dadurch, dass sich die Muskulatur an die Belastungen gewöhnt, können im Verlauf der Trainingsphase die Übungen langsam und individuell gesteigert werden. Jedoch sollen höchstens 25 Wiederholungen angestrebt werden. Ist diese Grenze erreicht, werden die Aufgaben in neuen Variationen durchgeführt und auf zehn Wiederholungen reduziert.

Voraussetzung für ein richtiges Durchführen ist, dass die Probanden individuell entscheiden, wann sie die Übungen abbrechen und somit diese wirklich mit maximaler Intensität ausführen. Ausschließlich auf diese Weise werden sie den Bestimmungen und

der Zielformulierung des Kraft- und Haltungstrainings gerecht, d.h., dass nur so die sportliche Leistungsfähigkeit im koordinativen und konditionellen Bereich verbessert werden kann. Ausführlich sind die einzelnen Übungen der beiden Trainingskomplexe in den nächsten Abschnitten erläutert.

3.3.3.1 Basisübungen

Bei den Basisübungen handelt es sich um verschiedene Übungskomplexe, die durch langsame, gleichförmige Bewegungen charakterisiert sind und trotz einer erheblichen Körperanspannung ohne Pressatmung durchzuführen sind. Die Übungen beherbergen verschiedene Variationen, die dem Könnensstand der Probanden angepasst und nach Beherrschung der Grundübungen vollzogen werden sollen. Die Qualität der Übung steht dabei deutlich vor der Quantität.

Zuerst werden Übungen in Rückenlage, anschließend in Bauchlage und schließlich im bipeden Stand absolviert. Die Probanden durchlaufen die Übungen in dieser Reihenfolge. Alle Übungen sollen von den Probanden nur so lange absolviert werden, wie sie in der Lage sind diese ordnungsgemäß auszuführen (vgl. FISCHER & SOMMER 2006, KREMER ET AL. 1990, KREMER ET AL. 1991).

3.3.3.2 Rumpfttraining in Rückenlage – Bauchmuskeltraining

In der Ausgangsposition liegt der Rumpf mit dem Rücken auf dem Boden. Die Beine stehen angewinkelt und geschlossen auf dem Boden. Die Füße werden soweit vom Körper abgestellt wie der Vorfuß noch Kontakt mit dem Boden hat. Die Hände werden hinter dem Hinterkopf gefaltet und die Ellenbogen in einen Winkel zum Boden von circa 45° stehen. Der Kopf liegt mit dem Hinterhaupt auf und wird so positioniert, dass das Kinn nach hinten Richtung Wirbelsäule gezogen wird und ein leichtes Doppelkinn entsteht. Hierdurch wird eine (ständige) Streckung der Halswirbelsäule erreicht und gehalten. Diese Ausgangsposition (Abb. 15) ist das Grundelement aller im Folgenden dargestellten Übungen (vgl. FISCHER & SOMMER 2006).



Abbildung 15: Grundübung in Rückenlage.

Aus dieser Ausgangsposition wird durch das Anspannen der Bauch- und Gesäßmuskulatur der untere Rückenbereich (Lendenwirbelbereich) auf den Boden gedrückt und so die Lendenwirbelsäulen aufgerichtet. Gleichzeitig bleiben die Füße locker auf dem Boden stehen und werden nicht in den Boden gestemmt (Abb. 15). Die Spannung der Bauchmuskulatur wird nun verstärkt durch eine Aktivierung der Rückenmuskulatur. Diese erfolgt über eine Verschiebung der Schulterblätter in Richtung des hinteren Beckenkamms unter Beibehaltung der beschriebenen Ellenbogen- und Handhaltung. Die Probanden sollen sich jetzt vorstellen, dass ihr Bauchnabel zur Wirbelsäule in Richtung Boden zieht und so den Druck durch den Rücken auf den Untergrund erhöht. Aus dieser Position heraus werden nun der obere Rumpf und der Kopf langsam und gleichmäßig, Wirbel für Wirbel, vom Boden abgehoben (um ca. 40-50°), ohne dass der untere Lendenwirbelbereich mit dem Kreuzbein den Boden verlässt (Abb. 16). Während des Aufrichtens soll das Ablegen des Kopfes auf die Brust vermieden werden. Stattdessen soll die Halswirbelsäule lang gestreckt bleiben und der Proband versuchen, zum Bauchnabel oder zu den Knien zu schielen (vgl. FISCHER & SOMMER 2006).



Abbildung 16: Rückenlage mit Anheben des Oberkörpers.

Der Kopf und der Rumpf werden unter Beibehaltung der Rücken- und Bauchmuskelspannung einige Sekunden gehalten und schließlich wieder die Wirbelsäule mit dem Kopf langsam Wirbel für Wirbel ohne den Kontakt der unteren Lendenwirbelsäule und des Kreuzbeins zum Boden zu verlieren auf dem Boden abgelegt. Erst wenn der Rumpf und der Kopf wieder ihre Ausgangsposition erreicht haben, wird die Spannung der Muskulatur gelöst (vgl. FISCHER & SOMMER 2006).

Diese Basisübung kann durch viele verschiedene Variationen intensiviert werden. Die erste Modifikation wäre, aus der Grundposition ein Bein unter Erhaltung der Kniebeugstellung von ca. 90° und dorsalflektierten Fuß langsam anzuheben und wieder abzusenken (Abb. 17). Das Bein wird dabei langsam angehoben, während der Lendenwirbelbereich noch immer fest in den Boden gedrückt wird. Der Oberschenkel und der Unterschenkel sind waagrecht zum Boden angewinkelt, die Füße zeigen in Richtung Kopf und die Zehenspitzen bleiben entspannt. Erst nach Einnahme dieser Position wird das Bein angespannt. Das Knie drückt gegen einen imaginären Widerstand nach außen, ohne dass der Körperschwerpunkt verlagert wird. Diese Position wird solange gehalten, bis die ersten Ausweichbewegungen v.a. im Bereich der Lendenwirbelsäule auftreten. Anschließend entspannt sich das Bein vor dem Absetzen langsam wieder und wird abgelegt. Im Verlauf der Übung bleibt der Lendenwirbelsäulenbereich kontinuierlich auf den Boden gedrückt. Erst wenn das Bein abgelegt ist, darf der Körper entspannt werden (vgl. FISCHER & SOMMER 2006).

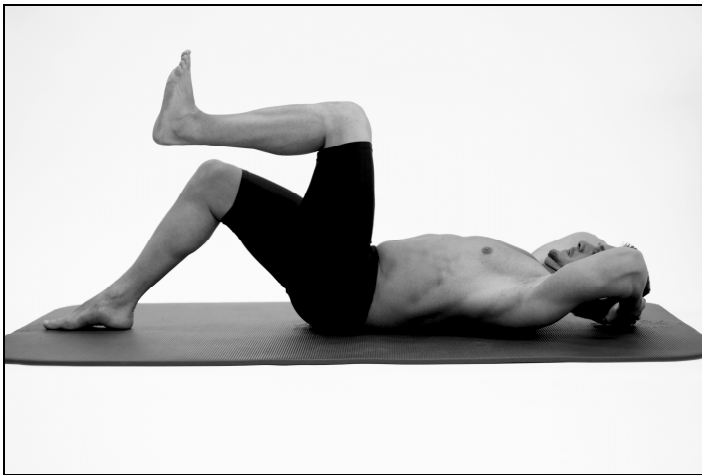


Abbildung 17: Grundposition bei gleichzeitigem Anheben eines Beins.

Das gleichzeitige Anheben beider Beine (Abb. 18), wird als zweite Variation in den Übungskomplex aufgenommen. Im Prinzip läuft diese Übung ähnlich der eben beschriebenen ab. Hierbei werden beide Beine aus der Grundposition heraus nach einander angehoben und so in Position gebracht, dass die Oberschenkel senkrecht und die Unterschenkel waagrecht zum Boden angewinkelt sind. Die Knie bleiben aneinander gedrückt. Die Sprunggelenke sind ebenso gebeugt, dass die Füße in Richtung Kopf zeigen und die Zehenspitzen entspannt bleiben. Unter Beibehaltung der Spannung von Bauch- und Gesäßmuskulatur, werden die Beine gleichzeitig abgelegt. Bis die Beine in ihrer Ausgangsposition angekommen sind, bleibt der Lendenwirbelsäulenbereich fortwährend fest auf den Boden gedrückt. Erst wenn die Beine wieder in die Ausgangsposition abgestellt worden sind darf die Muskulatur entspannt werden (vgl. FISCHER & SOMMER 2006).



Abbildung 18: Grundübung bei gleichzeitigem Anheben beider Beine.

Als letzte Variation dieser Grundübung in Rücklage wird die sogenannte *BOX* eingeführt (Abb. 19). Aus der beschriebenen Ausgangsstellung heraus werden die Beine nacheinander stets unter Anspannung der Bauch- und Gesäßmuskulatur und so, dass die LWS ständig Kontakt mit dem Boden hat angehoben. Der Oberkörper wird dann langsam vom Boden angehoben, bis sich die Schulterblätter vom Boden gelöst haben. Diese Position wird gehalten und in der Folge die Hände vom Hinterkopf gelöst, die Arme werden in eine seitliche Stemmhaltung mit den Ellenbogen auf Höhe der Ohren und in der gleichen Position zur Frontalebene des Rumpfes wie in der Ausgangsposition neben den Kopf gebracht. Die Probanden sollen nicht nur die Beine, sondern jetzt auch die Arme anspannen und gegen einen imaginären Widerstand stemmen. Die Handflächen zeigen nach oben. Unter der Vorstellung, dass sich die Probanden in einer Box befinden, die immer kleiner wird, sollen sie eine enorme Spannung aufbauen und dagegenhalten. Auch hierbei drückt der Lendenwirbelbereich nach unten, die Beine bzw. Füße halten den Druck gegen eine Wand und die Arme bzw. Hände stützen die Decke der Box. Während dieser Übung bleibt der Oberkörper mit den Schulterblättern ständig vom Boden abgehoben und die Schulterblätter in Richtung hinterer oberer Beckenkamm gezogen bleiben. Um wieder in die Ausgangsposition zu gelangen, wird die Stellung in umgekehrter Reihenfolge aufgelöst. Ebenso gilt für diese Übungsvariante, dass die Entspannung langsam und keinesfalls ruckartig abläuft (vgl. FISCHER & SOMMER 2006).



Abbildung 19: Die „BOX-Übung“.

Neben den bisher beschriebenen Übungen, gibt es auch Variationen in denen die schräge Bauchmuskulatur trainiert wird (Abb. 20). Auch hierbei wird die Ausgangsposition eingenommen. Unter Anspannung der Bauch- und Gesäßmuskulatur wird der Rumpf

unter leichter Eindrehung von Schultergürtel und Wirbelsäule nach rechts bzw. nach links angehoben. Gleichzeitig dreht sich der Oberkörper diagonal zum gegenüberliegenden Knie und zwar so weit bis beide Schulterblätter vom Boden abgehoben sind. Diese Aufrichtung erfolgt ebenfalls unter der Gegenspannung der Rückenmuskulatur und somit mit Schulterblättern die gegen den hinteren oberen Beckengang gezogen werden. Das Ablegen des Oberkörpers und des Kopfes erfolgt in umgekehrter Reihenfolge. Die Anspannung der Muskulatur darf erst aufgehoben werden wenn die Ausgangslage von Rumpf und Kopf wieder erreicht ist. Als Steigerung können die Beine, bevor der Oberkörper angehoben wird, langsam angehoben und in die schon oben beschriebene Position gebracht werden. Sobald die Beine geschlossen sind, weisen Knie- und Hüftgelenke einen rechten Winkel auf und die Füße zeigen mit gelockerten Zehenspitzen zum Körper. Jetzt wird der Oberkörper leicht eingedreht langsam nach links bzw. nach rechts angehoben. In umgekehrter Reihenfolge werden erst die Beine und anschließend der Rumpf abgelegt und abschließend entspannt (vgl. FISCHER & SOMMER 2006).

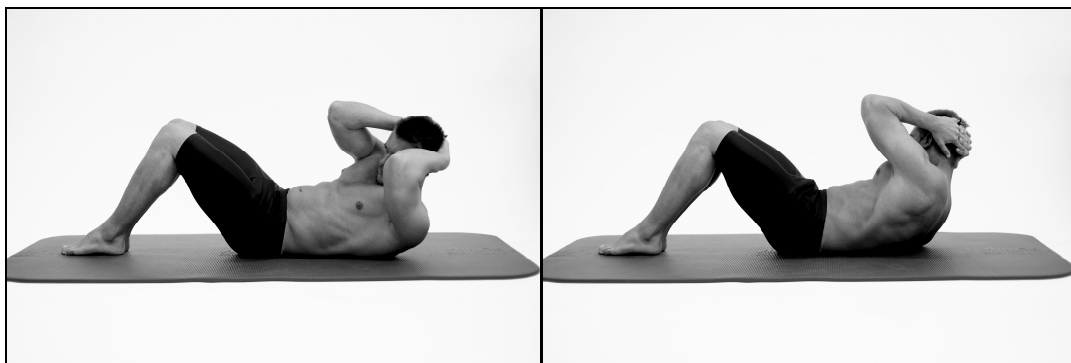


Abbildung 20: Rückenlage. Training der schrägen Bauchmuskulatur ohne Anheben der Beine.

3.3.3.3 Rumpfkrafttraining in Bauchlage – Bauch- und Rückenmuskeltraining
Ausgangsposition für den folgenden Übungskomplex ist die Bauchlage (Abb. 21). In Bauchlage ist die Eigenkontrolle durch die im Vergleich zur Rückenlage kleinere knöcherne Kontaktfläche zum Bodenerschwert und die visuelle Kontrolle aufgrund der Ausrichtung des Gesichts zum Boden nicht möglich. Es fällt den Probanden zu Beginn schwer, sich an den neuen Bezugspunkten auf der Körpervorderseite auszurichten und Muskelspannungen ohne feste Bezugspunkte der Körperrückseite zu dosieren und wahrzunehmen (vgl. FISCHER 2010, FISCHER & SOMMER 2006).

Die Grundstellung beschreibt die Bauchlage, in der die Beine hüftbreit auseinander mit den Oberschenkeln auf dem Boden liegen. Die Füße werden mit den Zehenspitzen auf-

gestellt, ohne sich darauf abzustützen. Beide Arme werden abgespreizt, locker vor dem Kopf mit rechtwinklig angelegten Ellenbogen und auf Ohrenhöhe abgelegt. Die Hände berühren den Boden mit den Handflächen, wobei die Fingerspitzen zueinander zeigen.

Auch in dieser Grundposition wird der Kopf in Verlängerung der Halswirbelsäule gestreckt, sodass die Stirn den Boden berührt und gleichzeitig ein leichtes Doppelkinn entsteht. Weiterhin wird die Becken- und Lendenwirbelsäulenaufrichtung durch maximale Anspannung der Gesäß- und Bauchmuskulatur ermöglicht, dabei werden das Schambein und die oberen vorderen Oberschenkeln fest auf den Boden gedrückt (Abb. 21). Der Schultergürtel wird fixiert, indem das Brustbein in den Boden gedrückt wird und die Schultern in Richtung hinterer oberer Beckenkamm geschoben und in dieser Stellung unter Muskelanspannung gehalten werden (vgl. FISCHER 2010, FISCHER & SOMMER 2006, KREMER 1988).



Abbildung 21: Grundposition der Übung in Bauchlage.

In der Bauchlage werden die gesamte haltungsrelevante und besonders die schulterblattstabilisierende Muskulatur sehr effektiv trainiert. Die Aufrichtung des Beckens verlangt und leitet eine Kontraktion von Gesäß- und Bauchmuskulatur ein und hebt die Lendenlordose reflektorisch auf. Das Hinunterziehen der Schulterblätter, bei gleichzeitiger Annäherung des Brustbeins und der Schulterköpfe zum Boden, begradigt die Brustkyphose und aktiviert die schulterblattstabilisierende Muskulatur. Ob dieser Effekt erzielt ist, lässt sich daran erkennen, dass zum einen die gesamte Wirbelsäule begradigt ist, zum anderen der obere Rücken Hautrötungen aufweist (vgl. FISCHER 2010).

Der Übungskomplex in Bauchlage wird variiert indem nach dem beschriebenen Spannungsaufbau mit entsprechender Rumpfaufrichtung die Stirn etwa einen Zentimeter

vom Boden gelöst. Dieser Vorgang soll vollzogen werden ohne die eingenommene Halswirbelsäulenaufrichtung aufzugeben. Eine Bewegung von einem Zentimeter reicht aus, um die muskuläre Spannung durch das aktive Halten des Kopfes deutlich zu intensivieren und somit den Trainingsreiz zu verstärken. Beginnend mit dem Ablegen der Stirn und abschließend mit der Relaxation der Gesäß- und Bauchmuskulatur, wird die Ausgangsstellung wieder hergestellt (vgl. FISCHER 2010, KREMER 1988).

Als weitere Steigerung der Belastung werden nach dem Abheben des Kopfes zusätzlich die in der Ausgangsposition seitlich abgelegten Arme wiederum nur etwa 1 cm vom Boden abgehoben (Abb. 22A). Der Schwierigkeitsgrad lässt sich durch dynamische Bewegungen der Arme sowohl in symmetrischer als auch in asymmetrischer Form verstärken.

Die Durchführung wird mittels symmetrischer Armbewegungen erschwert. Die Arme werden spiegelgleich und in gleich bleibendem Abstand vom Körper zum Boden weg bewegt (Abb. 22A). Die asymmetrische Armführung zeigt sich in einer mit rechts und links ungleichen Auf- und Abbewegung der Arme, bei ebenfalls gleich bleibendem Abstand (ca. 1 cm) zum Boden (Abb. 22B). Dadurch wird der Schwierigkeitsgrad abermals erhöht und somit der Trainingseffekt und die koordinativen Anforderungen gesteigert (vgl. FISCHER 2010, KREMER 1988).

Zusätzlich zu den Wirkweisen der Basisübungen in Bauchlage, kommt in den Variationen mit bewegten Armen, permanente Haltearbeit im Rumpf mit kontrollierter Bewegung der oberen Extremitäten hinzu. Die sich dabei verändernden Hebelkräfte verlangen eine ständige Regulation und Anpassung der Spannung im Körperzentrum. Es erfordert eine erhöhte Konzentration und Spannung beizubehalten, sowie parallel Bewegungen zu koordinieren. Bei der Ausführung (Abb. 22A,B) strömen von beiden Körperseiten unterschiedliche Wahrnehmungseinflüsse auf das Körperzentrum ein, was die Anforderungen weiter steigert (vgl. FISCHER 2010, FISCHER & SOMMER 2006).

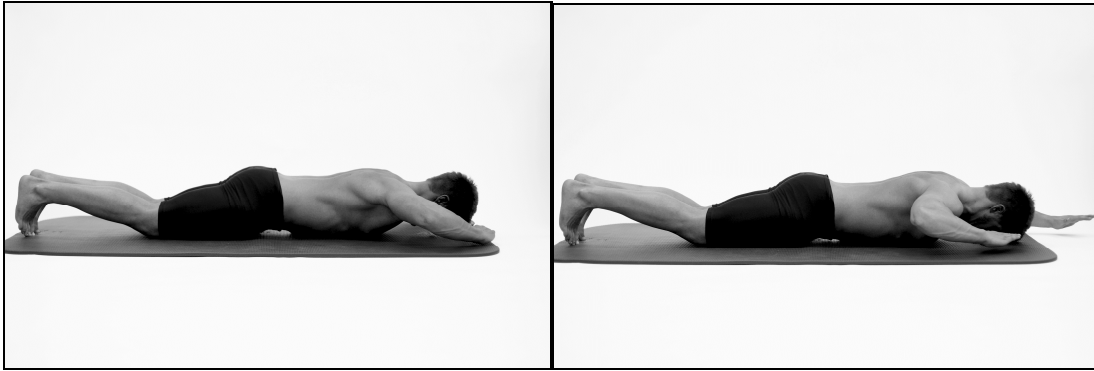


Abbildung 22: Variation der Übung in Bauchlage (A und B).

3.3.3.4 Rumpfkrafttraining im bipeden Stand – Beinmuskulatur im Stand unter Einbeziehung des Beckengürtels und des Rumpfes

Für diese Übung wird als Grundposition ein aufrechter und hüftbreiter Stand eingenommen (Abb. 23). Die Arme hängen locker neben dem Körper und die Füße sind parallel ausgerichtet. Das Kniegelenk wird leicht gebeugt und der Körperschwerpunkt so verlagert, dass die Last gleichmäßig auf den kompletten Fuß verteilt ist. Nun wird das Becken durch Anspannung der Bauch- und Gesäßmuskulatur aufgerichtet und damit die Lendenwirbelsäule entlordosiert. Die Brustwirbelsäule wird aufgerichtet indem die Halswirbelsäule mit dem Kopf in Mittelstellung wie an einem Marionettenseil hochgezogen wird. Dabei wird die Kopfhaltung durch die ebenfalls entlordosierte Halswirbelsäule in einer lotrechten Linie zu den darunter befindlichen Wirbelsäulenabschnitten bestimmt und ist zusätzlich gekennzeichnet durch ein angedeutetes *Doppelkinn*. Die Entkyphosierung der Brustwirbelsäule wird durch das Vorschieben des Brustbeins sowie durch das Verschieben der Schulterblätter in Richtung des hinteren oberen Beckenkamms unterstützt. Die Beinstabilität wird durch ein Auswärtsdrücken der Kniegelenke gegen einen imaginären Widerstand verstärkt (vgl. FISCHER & SOMMER 2006).



Abbildung 23: Grundposition im bipeden Stand.

Aus dieser Grundposition, kann eine Folgebewegung durchgeführt werden. Die gebeugten Knie- und Hüftgelenke werden langsam unter Aufrechterhaltung der Beckenaufrichtung gestreckt. Dazu müssen in erster Linie die Gesäßmuskeln maximal aktiviert und so der Oberschenkel in die Senkrechte gebracht werden. Es kommt dabei zu einer automatischen Koaktivierung nicht nur der Oberschenkelstreckmuskulatur sondern auch Oberschenkelbeugemuskulatur. Wenn die Übung korrekt ausgeführt wird, d.h. wenn die Rumpf- und damit die Beckenaufrichtung gewahrt werden kann, entsteht sowohl auf der Beuge- als auch auf der Streckseite der Hüftgelenke eine nahezu unerträgliche Spannung, die in der ersten Phase eines solchen Trainings nicht gehalten werden kann (vgl. FISCHER & SOMMER 2006).

Als erste Variation der Grundübung stellt der beidbeinige Zehenspitzenstand dar (Abb. 24). Das Gewicht, welches auf dem gesamten Fuß lastet, wird durch Anhebung der Ferse auf den Vorderfuß verlagert. Um dabei das Gleichgewicht halten, muss die Bauchmuskulatur stärker angespannt werden und die Gesäßmuskulatur so stark verkürzt werden, dass der Rumpf mit seinem Körperschwerpunkt über der Abstützfläche der Vorfüße bleibt (vgl. FISCHER & SOMMER 2006).

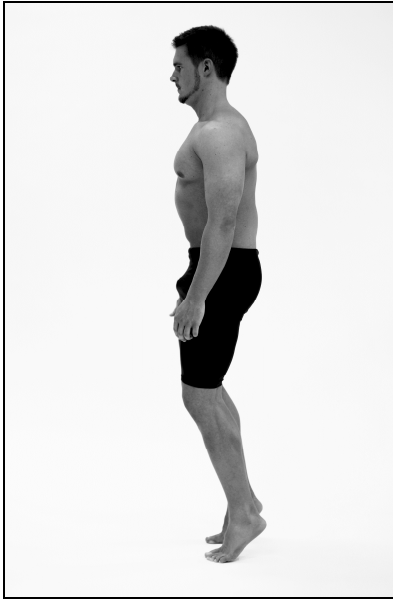


Abbildung 24: Variation der Grundposition im bipeden Stand: Zehenspitzenstand.

Für den Einbeinstand als eine weitere Variation werden in der aktiv eingenommen Grundposition die Beine bei entsprechend gebeugten Knie- und Hüftgelenken geschlossen. Ein Bein wird angehoben, ohne dass es zu einer Verlagerung des Körpers zur Stützbeinseite kommt (Abb. 25). Dazu ist eine maximale Verspannung des Beckens mit dem Stützbein und damit eine maximale Aktivierung der Bauch- und Gesäßmuskulatur Grundvoraussetzung. Das Bein wird soweit angehoben bis ein rechter Winkel im Hüft-, Knie- und Sprunggelenk entsteht. Das gebeugte Stützbein kann nun in einer steigenden Anzahl im Hüft- und Kniegelenk unter Beibehaltung der Rumpfhaltung gestreckt und wieder gebeugt werden (vgl. FISCHER & SOMMER 2006).



Abbildung 25: Variation im bipeden Stand: Bein Anheben.

Mit der Einbeziehung der Arme steigt der Schwierigkeitsgrad weiter (Abb. 26). Sowohl in der Grundübung, als auch in einer ihrer Variationen sind dabei die Arme mit gebeugten Ellenbogengelenke seitlich über die Schulterebene so anzuheben, dass die Unterarme nach oben zeigen und die Handflächen nach oben geöffnet eine virtuelle Last so aufnehmen. Es kommt dabei zu einem ergänzenden Spannungsaufbau der Streck- und Beugemuskulatur der oberen Extremitäten einschließlich des Schultergürtels (vgl. FISCHER & SOMMER 2006).

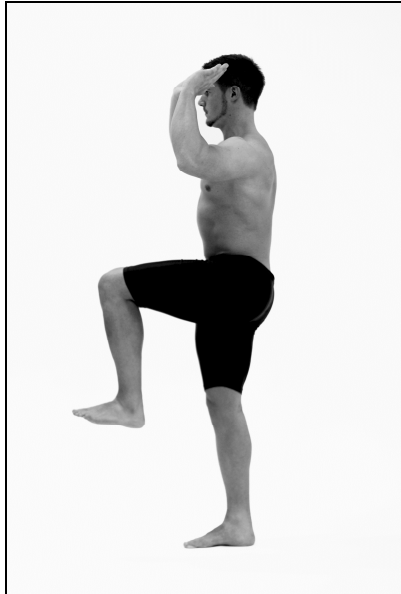


Abbildung 26: Variation im bipeden Stand: Bein und Arm Anheben.

3.3.3.5 Volleyballspezifische Übungen

Die volleyballspezifischen Übungen werden während der Trainingsphase erst nach dem Basistraining durchgeführt und bis zum Ende der Untersuchung abwechselnd ausgeübt. Daher wird die Variabilität des Trainings gewährleistet, indem stets verschiedene Muskelgruppen verstärkt angesprochen werden. Für diese Übungen ist eine ständige Spannung der Bauch- und Gesäßmuskulatur und dadurch eine Beckenaufrichtung Grundvoraussetzung, um die Übungen fehlerfrei auszuführen. Wie viele Wiederholungen jeder einzelne Proband vornimmt, hängt vom Trainingszustand der Person und der Versuchsgruppe und damit von der Fähigkeit die Übungen fehlerfrei durchzuführen ab. Deswegen variiert die Anzahl der Wiederholungen von mindestens zehn bis maximal 25 Durchgängen. Die zu absolvierenden Übungen teilen sich in Übungen ohne und mit einem Volleyball auf.

3.3.3.6 Übungen ohne Ball

Ausgangsstellung dieser Übung ist ein hüftbreiter Stand. Hüfte, Kniegelenke und Füße bilden eine senkrechte Achse und die Hände sind seitlich in die Hüfte gestützt. Aus dieser Position wird durch eine langsame Beugung im Hüft-, Knie- und Fußgelenken die Hockstellung eingenommen. Der Oberkörper ist dabei vorgeneigt und das Körpergewicht auf den gesamten Fußsohlen verteilt. Danach wird ebenfalls langsam die Ausgangsstellung wieder hergestellt. Das Ganze wird in zwei bis drei Serien mit zehn bis 15 Wiederholungen und jeweils 30 Sekunden Pause ausgeführt (vgl. SWISSVOLLEY 2005A).

Die folgende Übung beginnt, wie die oben beschriebene, in der gleichen Ausgangsstellung. Aus dieser Position wird mit einem Bein ein Ausfallschritt durchgeführt. Dabei wird der Körperschwerpunkt abgesenkt, der Rumpf bleibt aufgerichtet. Das Hüftgelenk und Kniegelenk dieses Beines werden gebeugt. Das Hüft- und Kniegelenk des hinteren Beines werden gestreckt. Das Gewicht soll gleichmäßig auf beiden Füßen verteilt lasten, wobei der hintere Fuß im Zehenstand ist. Die Übung wird im Wechsel rechts links durchgeführt, der Umfang und die Pausengestaltung entsprechen der Hockübung (vgl. SWISSVOLLEY 2005A).

Für die nächste Übung begeben sich die Probanden in den Unterarmstütz. Rücken und Kopf werden in eine Stellung gebracht, sodass Kopf, Schultern und Becken eine gerade Linie bilden (HWS bildet die Verlängerung der Wirbelsäule). Aus dieser Position wird ein gestrecktes Bein langsam angehoben und wieder abgesetzt und wechselweise das andere Bein. Während der gesamten Übung ist darauf zu achten, dass die Stellung des Kopfes und des Rückens gemäß der Ausgangsposition gehalten werden. Da es schnell zur Entspannung der Gesäß- und Bauchmuskulatur durch Konzentration auf die Beinarbeit kommen kann, sollte ein Trainer immer wieder auf die Anspannung der entsprechenden Muskeln hinweisen. Je nach individuellem Leistungsstand sollte diese Übung mindestens 30 Sekunden und maximal 60 Sekunden dauern (vgl. SWISSVOLLEY 2005B).

Die letzte Übung der Kategorie ohne Ball wird im Stand durchgeführt. Ausgangsstellung ist der hüftbreite bipede Stand, das Becken und die Wirbelsäule sind durch die Anspannung von Bauch-, Rücken- und Gesäßmuskulatur aufgerichtet. Die Kniegelenke werden leichtgradig gebeugt und der Körperschwerpunkt und damit der Rumpf vorverlagert und die Fersen leicht angehoben. Das Körpergewicht lastet auf beiden Vorfüßen. Nun werden die Fersen maximal angehoben und wieder abgesenkt. Es ist darauf zu achten, dass ausschließlich mit den Füßen gearbeitet wird und der zu Beginn eingenomme-

ne Kniewinkel unverändert sowie der Oberkörper mit der Rumpfmuskelspannung aufrecht erhalten bleibt. Auch diese Übung wird nach dem individuellen Leistungsstand für eine Dauer von mindestens 30 bis max. 60 Sekunden ausgelegt (vgl. FÖRSTER 2006).

3.3.3.7 Übungen mit Ball

Alle im Folgenden aufgeführten Übungen haben als Ausgangsposition den Liegestütz. Die Aufgaben bestehen aus verschiedenen Varianten und sind einzeln erklärt.

In der ersten Übung sind die Arme komplett gestreckt und die Hände umschließen seitlich den Ball. Es ist darauf zu achten, dass der Kopf, die Schultern und die Hüfte mit dem Rücken eine gerade Linie bilden. Dazu werden ergänzende zu der Stützreaktion Bauch-, Rücken und Gesäßmuskulatur angespannt und der Rumpf in der Aufrichtung stabilisiert. Die Probanden sollen auch hier die vorgegebenen Zeiten von mindestens 30 bis maximal 60 Sekunden für die Ausführung aller beschriebenen Übungen beibehalten.

Eine Abwandlung dieser Übung ist eine Abstützung auf dem Volleyball über die Fußspitzen an Stelle der Hände. Auch hier soll durch Bauch-, Rücken- und Gesäßmuskulatur und unter Mitwirkung der Beinmuskulatur diese Stellung gehalten werden. Bei dieser Übung gibt es wiederum Varianten: es wird nur mit einem Bein und Fuß abgestützt und das gegenseitige Bein gestreckt leicht abgehoben. Oder aus der Liegestützposition werfen sich jeweils zwei Spieler auf einer Hand gestützt und in einem Abstand von etwa einem Meter einen Volleyball mit einer Hand zu, fangen ihn mit einer Hand und werfen ihn zurück.

Als Steigerung wird der Volleyball einmal diagonal und einmal parallel zu geworfen, so dass die Flugbahn des Balles ein Acht bildet. So wird jeweils abwechselnd der linke bzw. der rechte Arm belastet. Wichtig ist, dass Gesäß- und Bauch- und Rückenmuskulatur stets angespannt bleiben. Anfangs dauern diese Varianten mindestens 30 Sekunden und werden mit der Zeit auf bis zu 60 Sekunden verlängert (vgl. FÖRSTER 2006).

Zur Kräftigung des unteren Rückens und des Rumpfes werden im Folgenden zwei Übungen mit einem Volleyball beschrieben. Die jeweiligen Übungen sollen abhängig vom Trainingszustand zehn bis 20 Mal durchgeführt werden. Bevor eine Übung nicht mehr korrekt ausgeführt werden kann, sollte sie abgebrochen und neu angesetzt werden.

Bei einer Übung liegen die Probanden mit dem Bauch auf dem Boden, die Arme befinden sich neben dem Kopf leicht gebeugt, sodass die Hände vor dem Kopf liegen. Die Stirn ist leicht auf den Boden aufgesetzt. Zwischen den Füßen ist ein Ball eingeklemmt.

Aus dieser Position heraus werden die Beine samt Ball gestreckt angehoben und gehalten, allerdings nicht zu hoch, damit kein Hohlkreuz entsteht (vgl. FÖRSTER 2006).

Bei der zweiten Übung liegen die Probanden seitlich auf dem Boden und klemmen sich einen Volleyball zwischen die Füße. Der auf dem Boden liegende Arm ist nach oben gestreckt, der andere dient eventuell als Stütze oder liegt gebeugt vor dem Körper. Aus dieser Ausgangsposition heraus, werden die Beine mit dem Ball gestreckt angehoben und langsam wieder abgesenkt. Währenddessen berühren die Füße und der Ball nicht den Boden. Dabei soll der Rumpf aufgerichtet bleiben, ein Hohlkreuz ist zu vermeiden. Der Blick ist mit dem Kopf als Verlängerung der Wirbelsäule gradeaus und somit horizontal zum Boden gerichtet. Diese Übung wird wechselseitig durchgeführt und wiederholt (vgl. FÖRSTER 2006).

Die Ausgangsstellung der nächsten vier im Folgenden aufgeführten Übungen ist das Sitzen auf dem Boden. Der Oberkörper sowie die Beine werden vom Boden abgehoben. Die Oberschenkel und der Rumpf bilden einen rechten Winkel. Während der gesamten Übung sollen die Beine gestreckt gehalten werden. Alle vier Übungen werden zu zweit und mit einem Volleyball durchgeführt. Der Ball wird pro Durchgang zehn bis 25 Mal von jedem Partner berührt. Dies hängt von der persönlichen Konstitution ab. Denn bevor eine Übung nicht mehr korrekt ausgeführt werden, sollte sie abgebrochen und neu angesetzt werden.

Als erste Übung setzen sich die Probanden ca. einen Meter auseinander gegenüber hin und werfen sich den Ball vor dem Körper zu. In einer zweiten Variation spielen sie den Volleyball im oberen Zuspiel zu. Drittens werfen sie den Ball nicht frontal vor dem Körper, sondern der Oberkörper ist leicht zu einer Seite geneigt (schräge Bauchmuskulatur). Der Ball wird aus dieser Position zum Partner geworfen, der sich in der gleichen Seitenlage befindet. Dieser fängt den Ball und verlagert den Oberkörper samt Ball auf die andere Seite, von wo aus er den Ball wieder seinem Partner zuspielt. Dieser hat in der Zwischenzeit seinen Oberkörper auch auf die andere Seite verlagert. Bei der letzten Möglichkeit mit Partner ist die Startposition zwar die gleiche, jedoch wird hier der Ball nicht unter Verwendung der Arme weitergegeben, sondern mit Hilfe der Beine. Die Partner nehmen einen solchen Abstand ein, dass sich ihre Füße im gestrecktem Zustand seitlich leicht überlappen. Einer nimmt den Ball zwischen die Füße und begibt sich anschließend in die Ausgangsposition. Mit einer Ruderbewegung strecken die Partner beide Beine nach vorn. Sobald sie die Beine ausgestreckt haben, findet in der Mitte die

Ballübergabe statt. Dafür umgreift der Partner ohne Ball den Ball und klemmt ihn zwischen die eigenen Füße. Daraufhin ziehen beide Partner wieder die Beine nach hinten zum Körper. Zu beachten ist bei der Übung, dass die Arme, die Beine und der Ball die gesamte Zeit in der Luft sind und dass der Oberkörper nicht nach hinten unten gelegt wird (vgl. FÖRSTER 2006).

Zudem gibt es noch eine Abwandlung der Übungen, indem ein Partner mit dem Rücken auf dem Boden liegt. Dabei hebt er die Beine im 90°-Winkel im Kniegelenk gebeugt an, so dass sich der Oberschenkel senkrecht und der Unterschenkel waagrecht zum Boden befinden. Nun werden die Beine zusammengedrückt und so während der gesamten Übung gehalten. Die Arme sind senkrecht nach oben gestreckt. Der andere Partner stellt sich in einigen Zentimetern Abstand zum Kopf des am Boden Liegenden und hält den Volleyball etwa auf der Höhe seiner Hüfte. Jetzt hebt er langsam den Oberkörper an und streckt die Hände nach oben/hinten und versucht den Ball mit beiden Händen zu berühren (vgl. FÖRSTER 2006).

Wichtig bei der Ausführung aller Übungen ist, dass der untere Rücken die gesamte Zeit auf den Boden gedrückt wird. So ist der effektivste Einsatz der Gesäß- und Bauchmuskulatur gewährleistet. Auch die Schultern sollten nicht nach oben Richtung Kopf gezogen werden, sondern unter Spannung immer zu den Füßen gezogen werden. Zudem ist es essentiell, dass die Übungen langsam und gleichmäßig absolviert werden (vgl. FÖRSTER 2006).

4 Belastbarkeit und Trainierbarkeit

Als Grundlage zum Verständnis vom Wirken eines Trainingsreizes als Belastung auf den menschlichen Organismus, ist das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept zu nennen in dem Belastung als eine vorgegebene Aufgabe oder Anforderung verstanden wird. Diese Anforderung hängt von äußeren, fremden Bedingungen ab, nicht aber vom Individuum selbst. Ob ein Individuum sich einer Belastung stellt, hängt allerdings wesentlich von seinem Willen, seiner Motivation und seiner Fähigkeit ab, die geforderte Leistung überhaupt zu erbringen (vgl. BOUTELLIER 2011, EHLENZ ET AL. 2003).

Wenn ein Mensch seine Leistung erbringt, zeugen individuelle Reaktionen von der physischen Beanspruchung bzw. psychischen Anstrengung. Beide hängen maßgeblich von der jeweiligen Leistungsfähigkeit ab. Die Belastungsgrenze wird durch die Belastbarkeit vorgegeben, die wiederum in eine physische sowie psychische Komponente unterschieden wird (vgl. ULMER 1985). FRÖHNER (2007) betrachtet Belastbarkeit auch als ein Merkmal der Belastungstoleranz des Organismus und damit seine Beanspruchbarkeit als Grundlage für seine Anpassung an höhere Belastungen.

Die Beanspruchung ist als individuelle Reaktion des Organismus beim Erbringen einer Leistung erkennbar. Auf die jeweilige Intensität der Beanspruchung kann über physiologische Kenngrößen geschlossen werden (z. B. Herzfrequenz, Atemzeitvolumen, usw.). Da das Ausmaß einer Beanspruchung in beiden Fällen wesentlich von der Leistungsfähigkeit des Leistenden bestimmt wird, ist die Beanspruchung bei gleicher Leistung interindividuell sehr unterschiedlich (vgl. BOUTELLIER 2011, EHLENZ ET AL. 2003, ULMER 1985).

Im Belastungs-Beanspruchungs-Konzept werden physische und psychische Belastungen und sich daraus ergebende Leistungen zwar unterschieden, lassen sich aber nur mehr oder weniger willkürlich trennen. Physische Arbeit wird in diesem Zusammenhang unterteilt in dynamische Arbeit (konzentrische und exzentrische Muskelaktivität, Bewegungsarbeit) und statische Arbeit (isometrische Muskelaktivität, Haltungsarbeit für die Körperhaltung und Haltearbeit) (vgl. BOUTELLIER 2011, EHLENZ ET AL. 2003, LUDWIG O. & SCHMITT E. 2006).

Selbst bei gleicher Belastung und bei ein und derselben Person sind unterschiedliche biologische Reaktionen möglich. Gerade im Kindes- und Jugendalter sind die biologischen Voraussetzungen für Belastbarkeit beachtlich. Nicht nur die genetische Konstitu-

tion, sondern auch die wachstumsbedingte Variabilität und Reife müssen akzeptiert werden. Bei Erwachsenen hingegen ist die Differenz biologischer Voraussetzungen lediglich konstitutionell und anpassungsbedingt geprägt. Nach FRÖHNER (2001) können bestimmte Zustandsgrößen des Organismus als Signale für die Belastbarkeit des Halte- und Bewegungsapparats eines Heranwachsenden aufgezeigt werden:

- Entwicklungsphasen (Pubertätsstart bis weitgehender Abschluss der Pubertät)
- Körperbautyp und Ernährungszustand
- Genetisch bedingte Merkmale des Halte- und Bewegungsapparats
- Funktionell-anatomische Normabweichungen

In Ergänzung erkennen WILLIMCZIK ET AL. (1991A, 1991B), dass die gleiche Belastung im ermüdeten Zustand zu einer höheren Beanspruchung, als im nicht ermüdeten Zustand führen kann und demzufolge sich bei Ermüdung Faktoren wie Alter, Schwierigkeit der Aufgabe, Leistungsniveau und Konzentrationsfähigkeit auswirken können. Sie gehen allerdings auch davon aus, dass das Fertigkeitensniveau bei leichten Aufgaben trotz Ermüdung erhalten bleiben kann. Außerdem heben sie hervor, dass das Wirkungsgefüge zwischen der Ermüdung und dem sportmotorischen Fertigkeitensniveau sehr komplex ist.

Die Belastbarkeit weist verschiedene Bezugsebenen auf, welche sich durch Voraussetzungen des Organismus in Wechselwirkung mit den verschiedenen Belastungen ergeben. Sie steht dabei in Abhängigkeit von Belastungsmodalitäten, wie Belastungsqualität, -quantität und -intensität. Es entsteht im Bezug auf mögliche Störungen der Belastbarkeit eine Vierteilung (Abb. 27).



Abbildung 27: Kategorien der Belastbarkeit (aus: FRÖHNER 2007, S. 31 nach FRÖHNER 1993, MARTIN & NICOLAUS 1998) und **Belastbarkeit und biologische Funktionssysteme** (nach: FRÖHNER 2007, S. 33).

Die allgemein-organismische Belastbarkeit (Abb.27) entspricht dem Zustand der allgemeinen Trainierbarkeit. Sie ist der Gradmesser für die Belastungsverarbeitung des Gesamtorganismus und beinhaltet die Wiederherstellungsfähigkeit nach Belastungen von unterschiedlicher Quantität und Qualität. Dieser Bereich wird durch die Konstitution der komplex regulierenden Systeme (neuronalen Systeme) und durch das Funktionieren der physiologischen und psychischen Grundprozesse geprägt (vgl. FRÖHNER 2007).

Die mechanische Belastbarkeit umfasst alle biologischen Bedingungen, die den mechanischen Belastungen genügen und wiederholte mechanische Belastungen störungsfrei ermöglichen und tolerieren. Dabei ist der Zustand des Stütz- und Bewegungssystems entscheidend für die Verarbeitung von Zug-, Druck- und Rotationsbelastung in unterschiedlicher Stärke und Wirkungsdauer (Impulsbelastung, Dauerbelastung). Des Weiteren sind das neuromuskuläre System und passive Teile des Stütz- und Bewegungssystems in ihrer funktionellen und strukturellen Abstimmung für die mechanische Belastbarkeit von enormer Bedeutung (vgl. FRÖHNER 2007, FROST 1964).

Die Belastbarkeit der leistungsbestimmenden Systeme umfasst die Systeme und Funktionen, die in erheblichem Maße für eine spezielle Leistung gefordert werden. Hierfür orientieren sich Trainingsprogramme im Leistungssport vornehmlich an diesen sportlichen und biologischen Bedingungen. Anpassungen der leistungsbestimmenden Systeme und Funktionen werden deshalb häufiger erreicht, als die der allgemein-organismischen oder mechanischen Belastbarkeit. Als Messgröße dient bei hohen Beanspruchungen die muskuläre Funktion. Störungen der Belastbarkeit bei Ausdaueranforderungen können sich besonders in Veränderungen des Stoffwechsels, der Herz-Kreislauf-Regulation, der muskulären Funktionsfähigkeit und im subjektiven Befinden äußern. Ebenso trifft dies für alle sportartspezifischen Belastungen bei anhaltend hohen Anforderungen zu. Bei übermäßigen Beanspruchungen des nervalen Systems sind Störungen der Belastbarkeit durch koordinative Beeinträchtigung (fehlerhafte Techniken) bekannt (vgl. FRÖHNER 2007). Vollständigkeitshalber fügen MARTIN & NICOLAUS (1998) den drei vorangegangenen Systemen noch die psychosoziale Belastbarkeit als Belastbarkeitskomponente hinzu.

Nach FRÖHNER (1993) zeigt die Leistungsfähigkeit an, inwieweit ein Mensch in der Lage ist, auf eine Anforderung (Belastung) adäquat zu reagieren. Diese ist besonders abhängig von Eignung einschließlich Einübungs- oder Trainingszustand. Verantwortlich für eine bestimmte, nach Zeit und Intensität definierte Leistung, sind die maximal vor-

handenen psycho-physiologischen Bedingungen des Organismus. Demnach basiert die menschliche Leistungsfähigkeit nicht nur auf den Aktivitäten der Skelettmuskulatur und ist daher mehr als nur physikalische Leistung.

Wenn alle möglichen Leistungsvoraussetzungen optimal eingesetzt werden, kann die aktuelle Höchstleistung erbracht werden. Sie lässt sich durch Lernen und Trainieren steigern und ist von verschiedenen Faktoren, wie z. B. Alter und Gesundheitszustand abhängig. Lernen und Trainieren vermitteln nicht nur entsprechende Erfahrung, sondern führen auch zu jeweils spezifischen Anpassungen des Organismus (vgl. BOUTELLIER 2011).

Auf Grund der oben gemachten Aussagen unterscheidet sich die Leistungsfähigkeit als Merkmal des Organismus von der Belastbarkeit, vor allem durch die störungsfreie Verarbeitung von Belastungen. Zudem zeigt sie an, inwieweit ein Mensch ohne gesundheitliche Risiken belastet werden kann. Speziell in Abhängigkeit vom Gesundheitszustand. Gesundheit und Leistungsfähigkeit korrelieren nur sehr bedingt miteinander, insbesondere ist eine überdurchschnittliche Leistungsfähigkeit kein Indiz für Gesundheit und umgekehrt (vgl. ULMER 1985). Die trainingsmethodischen Erfordernisse für eine Leistungsentwicklung und Belastungssicherung differieren im Allgemeinen ebenfalls nicht unwesentlich (vgl. FRÖHNER 2007). Demzufolge ist die Belastbarkeit der limitierende Faktor beim Setzen von Trainingsreizen, welche für BERSCHIN (2011) nichts anderes, als eine planmäßige und gezielte Störung des Gleichgewichtszustandes der Homöostase darstellt.

BACHL ET AL. (2006) verstehen unter Trainierbarkeit die Reaktionen unseres Organismus auf richtig dosierte Belastungsreize mit kurz-, mittel- und langfristigen funktionellen sowie strukturellen Anpassungen und einer daraus resultierenden positiven Einwirkung auf die sportliche Leistungsfähigkeit, wenn mit der Anpassung bei einer gleichen oder ähnlich gelagerten Belastung die Beanspruchung reduziert werden kann.

Allerdings kommt es nach BACHL ET AL. (2006) und anderen Trainingswissenschaftlern darauf an, dass die Trainingsreize richtig dosiert sind. Schwache Reize wirken auf die Lebenstätigkeit anregend, starke Reize bewirken Anpassungsvorgänge, welche Strukturen stärken und Funktionen verbessern, zu starke Reize wirken schädigend auf die Strukturen des Gewebes und auf die Funktion der Organe. Alle längerfristig entstehenden Trainingswirkungen beruhen auf diesem biologischen Prinzip der aktiven Belastungskompensation durch funktionelle und strukturelle Anpassung der beanspruchten

Organe und Gewebe (vgl. SCHLICHT & SCHWENKMEZGER 1995). Die Trainierbarkeit ist daher die Dimension der Anpassung an Trainingsbelastungen. Sie ist alters- und geschlechtsabhängig und spielt deshalb im Kindes- und Jugendalter für die Trainierbarkeit, die sensitiven oder sensiblen Phasen, d.h. die Phasen für die Ausprägung bestimmter sportmotorischer Leistungsfaktoren besonders günstig sind, eine enorm wichtige Rolle (vgl. BAUR 1987).

4.1 Belastbarkeit der Haltungs- und Bewegungsorgane

SOMMER (2010) geht davon aus, dass das Haltungs- und Bewegungssystem des Menschen mechanisch enorm belastbar ist. Zudem ist nach FROST (1964) auch das in der Evolution anwendbare Prinzip „*form follows function*“ (S. 52) auf die Belastung durch Haltung und Bewegung übertragbar. Unter ausreichend starken und regelmäßigen funktionellen Reizen reagieren die Haltungs- und Bewegungsorgane insbesondere über die Zunahme eines jeweiligen Belastungsquerschnitts und erfahren dadurch eine Zunahme der Belastbarkeit. Die Binde- und Stützgewebe erfahren eine Ausrichtung der kraftübertragenden Strukturen v.a. der kollagenen Faser in der Hauptbelastungsebene und eine Verdichtung dieser Strukturen. Voraussetzung dafür ist eine ausreichend starke Verformung, die insbesondere dann, wenn die Belastungen sehr viele Belastungsspitzen enthalten, wie sie bei hohen Bewegungsgeschwindigkeiten in High Impact Sportarten, wie im Volleyball, auftreten oder grundsätzlich bei ermüdenden Belastungen zu erwarten sind (vgl. FROST 1964, SOMMER 2010).

Diese Anpassungsreaktionen der Bindegewebe wie Knochen, Knorpel Sehnen, Gelenkbänder sind das Ergebnis einer entsprechenden Mehrproduktion von Gewebematrix und somit stärkeren Aktivitäten der Bindegewebszellen. Diese sind allerdings immer abhängig von dem jeweiligen funktionellen Anpassungszustand und den damit verbundenen begrenzenden Anpassungsprozessen, welche mit einer Steigerung der Mitoserate, der Hypertrophie dieser Zellen, einhergehen (vgl. FROST 1964, SOMMER 1997).

Das Problem, welches mit der Verdichtung und Ausrichtung der Faserstruktur der Stützgewebe auftritt, liegt in den elasto-mechanischen Verformungsverhalten dieser Gewebe begründet. Es handelt sich um visko-elastische Gewebe, die zwar mit der Zunahme einer Verformungsgeschwindigkeit einen größeren Belastungswiderstand aufbauen und damit die maximale Belastbarkeit steigern, aber gleichzeitig die initiale, visköse und damit dämpfend wirkende Phase der Verformung verkürzen. Dieser Effekt tritt

auch bei der Zunahme der Belastungsfrequenz, wie bei zyklischen Bewegungsabläufen auf und bedeutet folgerichtig eine Abnahme der Dämpfungskapazität und somit der Energieabsorptionsfähigkeit der betroffenen Gewebe. Bleibt diese Energie als überschüssige Energie im betroffenen Gewebe, dann wird sie das Gewebe schädigen (vgl. SOMMER 1997).

Die Ausrichtung der Faserstruktur in einer Hauptbelastungsebene führt zu einer bevorzugten Belastbarkeit in dieser Ebene. Es werden jene Belastungen besonders gut toleriert, die mit einer Zugbeanspruchung des überwiegenden Anteils der Kollagenfasern einhergehen. Demgegenüber weisen alle anderen Belastungen, die aus dieser Belastungsrichtung abweichen und wie sie bei Ausweichbewegungen zu erwarten sind, insbesondere Scher- und Torsionsbelastungen, ein ebenfalls erhöhtes Schädigungspotential auf, weil die Belastungsgrenze für diese Belastung niedriger liegt (vgl. FUNG 1981, WOO & YOUNG 1991).

Bei Betrachtung von Belastung und Beanspruchung von Biomaterialien, steht neben den elasto-mechanischen Materialeigenschaften, die Skelettmuskulatur im Fokus. Als verstellbar dämpfende Struktur ist sie dazu in der Lage Art, Größe, Richtung und Dauer der Krafteinwirkung zu modulieren. Dabei entscheiden der Tonus sowie die zentrale, aber auch spinale neuronale Kontrolle der Muskulatur, in welcher Größe und in welchem zeitlichen Verlauf eine peripher einwirkende Kraft auf das Bindegewebsystem übertragen wird. Während ein funktionell ausreichend arbeitsfähiger Muskel die Funktion zum Schutz der passiven Strukturen gut ausüben kann, muss man damit rechnen, dass ein überdehnter oder verkürzter Muskel eine reduzierte Dämpfungskapazität aufweisen wird (vgl. SOMMER 2010).

Betrachtet man gegenüber dem straffen Bindegewebe die Skelettmuskulatur als den aktiven Anteil des Haltungs- und Bewegungsapparats mit seinen tonischen, in erster Linie Haltearbeit verrichtenden Anteilen und den phasischen, die Bewegung bewirkenden Anteilen, dann weist auch dieses Gewebe besondere elasto-mechanische Belastungs- und Verformungseigenschaften auf. Die Skelettmuskulatur ist, ebenso wie das Stützgewebe, visko-elastisch verformbar und besitzt anisotrope Belastungseigenschaften. Sie kann darüber hinaus auch aktiv unter Energieverbrauch dynamisch-konzentrisch verkürzen, dynamisch-exzentrisch dehnen oder isometrisch in einem entsprechenden Verkürzungszustand arbeiten. Abhängig von der Muskelmasse und dem Muskelquerschnitt sowie von der zeitlichen und räumlichen Rekrutierbarkeit der motorischen Ein-

heit und damit abhängig von neuromotorischen, koordinativen Leistungsvermögen, können entsprechende Muskelkräfte entwickelt werden. Bei einem gegebenen Hebelsystem werden Einzeldrehimpulse entwickelt, die wiederum in ihrer Summation die Translation oder Rotation des Gesamtkörpers mit seiner Haltung im Raum bei entsprechender äußerer Krafteinwirkung bestimmen (vgl. SOMMER 1984A, 1984B, 1984C). Selbst wenn eine physiologische Streck- oder Beugesynergie aller an der Haltung und Bewegung des Körpers beteiligten Muskeln vorliegt, muss auch unter besonders günstigen koordinativen Bedingungen damit gerechnet werden, dass ein sehr großer Teil der bei der Bewegung verbrauchten Energie nicht in mechanische Arbeit umgewandelt werden kann (vgl. HELDMAIER 2004). Dieser Anteil überschüssiger Energie im Organismus, muss als Schadensenergie eingeschätzt werden. Grund dafür ist die Annahme, dass die Dämpfungskapazität der Skelettmuskulatur unter anderem aufgrund der Fähigkeit zur aktiven Kontraktion gegenüber dem Stützgewebe als weitaus größer einzuschätzen ist. Folglich muss ihr bei der Umwandlung in Wärme, im Interesse einer Verminderung des Überbelastungs- und Verletzungsrisiko, eine erhebliche größere Bedeutung beigemessen werden (vgl. SOMMER 1984B).

Ferner geht SOMMER davon aus, dass die Dämpfungskapazität der Skelettmuskulatur wiederum bei einer gegebenen Muskelmasse abhängig von einem störungsfreien Verkürzungs- und Dehnungszyklus, insbesondere der Extremitätenmuskulatur, ist. Darüber hinaus ist, neben einer funktionstüchtigen Muskulatur, eine entsprechende neuromuskuläre Ansteuerungsfertigkeit eine wichtige Voraussetzung für eine optimale Bewegungsausführung. Mit der Ermüdung verschlechtert sich das nachgebende Verhalten der Skelettmuskulatur und somit das Dämpfungsverhalten mit der Folge von zunehmenden Belastungsspitzen im gesamten kraftübertragenden System. Der Muskel reagiert mit einer größeren Steifigkeit und verliert die Fähigkeit zum kontrollierten Nachgeben. Daraus resultieren pathologische, d.h. plastische Verformungen mit entsprechender Mikro- und Makrotraumatisierung. Eine Häufung von Überbelastungsschäden der Haltungs- und Bewegungsorgane in der Ermüdung ist nicht zuletzt dieser Funktionsstörung anzulasten. Ungünstige Haltungs- und Formvoraussetzungen des Haltungs- und Bewegungsapparates erhöhen das Überbelastungsrisiko (vgl. BERSCHIN & SOMMER 1999, FUNG 1981, SOMMER 1983, SOMMER 1984A, 1984B, 1984C; WOO & YOUNG 1991).

Die Nutzbarkeit der Dämpfungskapazität durch ein dynamisch-exzentrisches nachgebendes Verhalten, wird demnach durch die jeweilige aktive und passive Beweglichkeit und dem nur damit möglichen Bremsweg bestimmt. Da ungünstige Formvorgaben des

knöchernen Skeletts durch sportliches Training nicht zu korrigieren sind, muss dem funktionellen Anpassungszustand der Muskulatur die zentrale Rolle in der Frage der Belastung und Belastbarkeit der Binde- und Stützgewebe wie auch der Muskulatur, zugeordnet werden. Eine Verbesserung der passiven Gelenkbeweglichkeit erscheint hingegen nur in dem Umfang nützlich, in dem diese in der Bewegung genutzt wird, so dass die alleinige Verbesserung, z.B. der Dehnbarkeit von Sehnen und Bändern, eine allenfalls nur nachrangige Bedeutung beizumessen ist (vgl. BERSCHIN & SOMMER 1999, SOMMER 1997, SOMMER 1984A, 1984B, 1984C).

4.2 Trainierbarkeit und Belastbarkeit bei Nachwuchsathleten

Leistungssport, wo sich Trainings- und Wettkampfbeginn zunehmend in jüngste Altersstufen verlagern, kommt den Fragen nach der Belastbarkeit und Trainierbarkeit von Kindern und Jugendlichen eine erhebliche Bedeutung zu. Eine kontinuierliche und fokussierte sportliche Betätigung im Kindes- und Jugendalter ist nicht nur im Interesse einer bestmöglichen Nutzung sportmotorischer Fähigkeiten im Rahmen des Leistungssports von Bedeutung, sondern auch generell für eine bestmögliche Entwicklung der Haltungs- und Bewegungsorganen und der Motorik unabdingbar. Der Bewegungsdrang, gute motorische Lernvoraussetzungen und teilweise günstige Kraft- Lastverhältnisse sowie eine gute Beweglichkeit im Kindes- und Jugendalter, sind dabei der Schlüssel zum Erfolg (vgl. BAUR ET AL. 1994, BERSCHIN 2011, SOMMER 2010).

Im Vergleich zum Erwachsenen muss bei Heranwachsenden von einer sich unterscheidenden sportlichen Belastungsreaktion des Bewegungsapparates und der inneren Organe ausgegangen werden. Dabei bestehen teilweise quantitative und bis zu einem gewissen Grad auch qualitative Unterschiede im Verhältnis Belastungsreiz und Reizantwort (vgl. DSB 1989). Die besondere motorische Lernfähigkeit im Kindes- und Jugendalter begründet sich wesentlich in der noch ausgeprägten Aktivierbarkeit neuronaler Strukturen und den besonders günstigen Kraft-Lastverhältnissen vor entsprechenden Wachstumsschüben. Entsprechend sollte im Interesse einer bestmöglichen Nutzung des sportlichen Leistungspotentials eines Heranwachsenden die motorische Grundausbildung mit dem Erlernen der Grobformen, der grundlegenden Techniken und Lösungsstrategien von Bewegungsaufgaben bis zur präpuberalen Phase bereits erfolgt sein (vgl. FRIEDRICH 1982, MARTIN 1982, SOMMER 2010).

Im Unterschied zu Kindern und Jugendlichen haben erwachsene Sportler bereits ein erfahrungsbedingtes Handlungsprogramm im Umgang mit ihrem Körper, oft als Resultat eines systematischen Nachwuchstrainings, in dem wichtige sportartspezifische Fähigkeiten und Eigenarten vermittelt werden konnten. Die bei Kindern noch ausgeprägte Fähigkeit des Nervensystems zur Rekrutierung und Kopplung synaptischer Verbindungen gilt dabei als Schlüssel für das relativ leichte Erlernen vielfältiger Bewegungen. Die unterschiedlichen physiologischen Bedingungen sind deshalb die Erklärung für den geforderten frühzeitigen Trainingsbeginn in den technisch-koordinativen Sportarten und dem späteren Trainingsbeginn in den Kraft- und Ausdauersportarten (vgl. FRÖHNER & TRONICK 2007).

Bei entsprechend entwickelten qualitativ ungünstigen Bewegungsmustern muss aber auch mit Nachteilen in Bezug auf die Belastbarkeit, wie auch auf das Leistungsvermögen, gerechnet werden, die sich verstärken durch inzwischen nahezu regelhaft vorhandenen Haltungsschwächen und -schäden, selbst bei Leistungssport treibenden Jugendlichen (vgl. SCHMIDT ET AL. 2003, SOMMER 2010). Deshalb ist ein vernünftiges Verhalten im Sport unter Beachtung des Gleichgewichts zwischen Belastung und Belastbarkeit dringend notwendig. Durch zu hohe Trainingsumfänge, eine zu hohe Reizdichte – besonders bei einseitigen Belastungen – und einer zu kurzen Regenerationsphase, kann es beim Kind noch eher als beim Erwachsenen zu Überbeanspruchungen kommen. Dabei gilt der wachsende Haltungs- und Bewegungsapparat als besonders *vulnerabel*, wonach gemäß dem Mark-Jansen-Gesetz (vgl. BERTHOLD ET AL. 1981) sich die Empfindlichkeit des Gewebes proportional zur Wachstumsgeschwindigkeit zunimmt. Die Folgen sind letztendlich Funktionsstörungen im Bereich des aktiven und passiven Bewegungsapparates, die sich allerdings nicht zwingend im Kindes- und Jugendalter manifestieren müssen; denn im Kollektiv der Leistungssport treibenden Kinder und Jugendlichen gibt es keinen Nachweis für eine besondere Häufung von Sportverletzungen und Sportschäden, was wiederum für eine in diesem Alter grundsätzlich günstige Belastbarkeit spricht (vgl. DSB 1989, STEINBRÜCK 1999, SOMMER 2010).

Die oben beschriebene Vulnerabilität des Haltungs- und Bewegungsapparates in den Phasen der verschiedenen Wachstumsschübe und der Pubertät erklärt sich im Wesentlichen durch eine Dissoziation von Knochen Skelettmuskelwachstum, die allgemeine Skelettentwicklung eilt dem Muskelwachstum zeitlich voraus. Zusätzlich entwickeln sich die verschiedenen Muskelgruppen nicht gleichzeitig, sondern zeitversetzt. Folge dieser ungleichmäßigen Entwicklung ist, dass bei komplexeren Bewegungen häufig Koordinati-

onsstörungen auftreten. Im Vergleich der Geschlechter besteht bis zur Pubertät eine bei Jungen und Mädchen annähernd gleich verlaufende Kraftausbildung, die sich im Verhältnis ab der Pubertät zugunsten der Jungen verändert. Danach nimmt das Muskelwachstum bei Jungen stärker zu begleitet von einer Reduzierung des Fettgewebes (COTTA & SOMMER 1986, MELLEROWICZ & WILKE 2008).

Die im Vergleich zu Erwachsenen bessere Verformbarkeit der Binde- und Stützgewebe von Kindern und Jugendlichen, mit einem im Vergleich zum Faseranteil größeren zellulären Anteil, stellt eine sehr günstige Belastungsvoraussetzung dar, wird aber in den Wachstumsphasen ungünstigen Muskel- und Skelett voraussetzung konterkariert. Zusätzlich muss in diesen Phasen auch mit einer lockeren Kapsel-Bandführung insbesondere der peripheren Extremitätengelenke und damit passiven Stabilitätsproblemen und den damit verbundenen Belastungsproblemen gerechnet werden. Die Hypermobilität dieser Gelenke beinhaltet allerdings mehr ein Überbelastungsrisiko der Gelenkknorpel als ein erhöhtes Risiko für Kapselbandrupturen, die im Falle einer Ruptur wiederum weniger intraligamentär, als im Bereich der knöchernen Insertion zu erwarten ist (vgl. BERSCHIN 1999, DI FIORI 1999, NEUMANN & NEHRER 2006, SOMMER 2010, VAN LAER 1984).

MORSCHER & DESAULLES (1964) lokalisieren die Schwachstellen des kindlichen Knochenaufbaus in den Wachstumsfugen. Sie weisen, besonders während Wachstumsschüben, eine vermehrte Empfindlichkeit gegenüber Scherkräften auf, was im Falle einer Fraktur in diesem Bereich nahezu unweigerlich eine Wachstumsstörung und folgender Knochenfehlform bedeutet (vgl. SOMMER 2010).

FROST (1964) belegt mit röntgenologischen Untersuchungen von jugendlichen Leistungssportlern, dass High Impact Belastungen zu einer stärkeren Knochendichte führen. Die damit einhergehende bessere und maximale Belastbarkeit, lässt keine Wachstumsstörungen erwarten. Zudem geht SOMMER (1984A, 1984B, 1984C) davon aus, dass durch High Impact Belastungen eine Straffung der capsulo-ligamentären Strukturen herbeigeführt wird. Dabei begrenzt sich zumindest in Relation die Gelenkbeweglichkeit, so wie es bei einer über längere Zeit einseitigen Belastung einer Gliedmaße nachzuweisen ist. SOMMER ET AL. (1987) und SOMMER (2010) zeigen auf, dass auch apophysäre Überbelastungsreaktionen sich problemlos – unter Fortsetzung der sportlichen Belastung – beherrschen und korrigieren lassen, wenn gestörte Bewegungsabläufe in Form von stau-

chenden Belastungen durch ein adäquates Koordinationstraining amortisiert werden können (vgl. BERSCHIN 1999, NEUMANN & NEHRER 2006, SOMMER 2010).

4.3 Grenzen von Trainierbarkeit und Belastbarkeit

Die Grenze sportlicher Leistungsfähigkeit wird einerseits bestimmt durch Belastungs- und Beanspruchungsvorgabe der sportlichen Techniken, Sportgeräte und -anlagen und andererseits durch die Anpassungsfähigkeit des Organismus mit seinen Struktur- und Systemeigenschaften. Seit Jahren wird immer wieder über die Grenzen der sportlichen Leistungsfähigkeit diskutiert. Tatsächlich aber lässt sich keine Stagnation in der Leistungsentwicklung erkennen, was insbesondere der fortgesetzten Optimierung der Bewegungstechniken aber auch der Optimierung von Belastungs- und Regenerationsbedingungen bei der Anpassung des biologischen Systems zugeschrieben werden kann. Entsprechend scheinen das Optimierungspotential von Zustandsgrößen und Funktionen des Organismus, der Strukturen und Systeme sowie der Steuer- und Regelmechanismen nicht ausgeschöpft (vgl. FRÖHNER 2000).

GROSSER ET AL. (1986) erkennen im Prinzip des trainingswirksamen Reizes die Basis biologischer Adaptation im Sport. Es definiert sich allgemein in einer überschwelligen Störung des Gleichgewichtszustandes der Homöostase. Die Grenze der Belastbarkeit bestimmt die noch tolerierbare Stärke des Reizes und damit auch die Grenze der Trainierbarkeit. Sie erzwingt den Belastungsabbruch in der Ermüdung. Das Überschreiten dieser Grenze beinhaltet das unabdingbare Risiko eines akuten oder sogar überdauernden Funktionsversagens. Sobald die biologischen Zustandsgrößen durch vorhandene genetische Faktoren, durch Krankheiten oder ungenügende Anpassungen nicht adäquat ausgebildet sind, ist diese Grenze herabgesetzt, so dass bereits eine geringe sportliche Belastung des Halte-, Stütz- und Bewegungsapparats eine Überbelastung bedeuten kann.

Für DENOTH & STACOFF (1991) liegt ein Grund des Erreichens einer Leistungs- und Belastbarkeitsgrenze in einer dominanten und oftmals einseitigen Entwicklung der Muskulatur und daraus ein resultierendes oft ungenügendes Zusammenwirken einzelner Muskelfasern und Muskeln. Sie gehen davon aus, dass diese Entwicklung sich durch eine Optimierung der intra- und intermuskulären Koordination korrigieren lässt.

SOMMER ET AL. (1987) betrachten das Problem der grenzwertigen Belastung etwas umfassender. Sie erkennen in der Nutzung des Ermüdungsreizes als erforderlichen Trai-

ningsreiz das Risiko von Störungen des Bewegungsablaufes, die sich regelhaft in einem Haltungsverfall und typischen Ausweichbewegungen manifestieren, die wenn sie nicht beherrscht werden entweder unmittelbar zu Verletzungen oder mittelbar und zeitlich verzögert zu Überbelastungsschäden führen (s. Kap. 4). Sie erkennen eine Analogie zu zentralen Bewegungsstörung von spastisch gelähmten Patienten mit durchaus vergleichbaren Haltungsproblemen und muskelverkürzungsbedingten Ausweichbewegungen. Sie erwarten durch die Vermeidung des Haltungsverfalls über ein ausreichend komplexes Rumpfstabilisierungs- bzw. Haltungstraining, das in seinem Kern therapeutischen Handlungsansätzen von spastisch gelähmten Kindern entspricht, eine zumindest Verzögerung dieser Ermüdungsreaktion. In Arbeiten von BERSCHIN (2010, 2011), BRUHN (2003, 2006) und FISCHER (2010) lässt sich belegen, dass mit diesem Handlungsansatz eine positive Intervention möglich ist. Er scheint tauglich, um in erster Linie über die Erhaltung der optimalen Rumpfaufrichtung die damit verbundene Kokontraktionsfähigkeit und die Kontrolle des Strecktonus auch in der Ermüdung garantieren können und so positiv die Grenzen der Trainierbarkeit und Belastbarkeit zu verschieben (vgl. BERSCHIN & SOMMER 1999, BERSCHIN 2010, SOMMER ET AL. 1999).

4.4 Belastungssicherung im Volleyballnachwuchsbereich

Grundsätzlich und allgemein sind zur Belastungssicherung im Nachwuchsbereich die im Kapitel 4.2 aufgeführten besonderen Bedingungen der körperlichen Belastbarkeit insbesondere in den Phasen des Körperwachstums zu berücksichtigen; denn v.a. in den Phasen der unterschiedlichen Entwicklung von Skelett und Muskulatur sind Bewegungsstörungen auch ohne ermüdende Belastung zu erwarten und damit Verletzungen und Überbelastungsschäden vorprogrammiert. Ein ausreichend kontinuierlicher allgemeiner und spezifischer Trainingsaufbau wäre bei einer unzureichenden Berücksichtigung allein dieser Ausgangsvoraussetzungen kaum zu erwarten.

Wie in allen Schnellkraftsportarten ist die sportliche Leistungsfähigkeit im Volleyball vor allem von einer präzisen Ansteuerung der Muskulatur abhängig. Können die Bewegungsprogramme in Folge von Ermüdung nicht präzise abgerufen werden, kommt es zu Fehlern bei der neuronalen Signalweiterleitung. Deshalb können die Systeme des Stütz- und Bewegungsapparates nicht mehr richtig zusammenarbeiten und es kommt zu Bewegungsstörungen und somit auch zu Leistungseinbußen (vgl. FRÖHNER 2009A, FRÖHNER & TRONICK 2007).

Die Beanspruchung bei Kindern und Jugendlichen im Volleyball wird in Abhängigkeit von der sportartspezifischen Basistechnik und den spezifischen Bewegungsabläufen, auch ohne Spielgerät, vornehmlich in der Region des Becken-Bein-Bereiches, der Wirbelsäule, der Schulter-Arm-Region, besonders des genutzten Spielarms, beansprucht. Die Entstehung von muskulären Dysbalancen und Fehlhaltungen mit funktionellen und strukturellen Störungen am Stütz- und Bewegungsapparat als Folge einer dominanten Spielarmseite in der Diagonalen ist kaum zu vermeiden (vgl. FRÖHNER 2007, FRÖHNER 2009A, 2009B).

Darüber hinaus wird in Sportsportarten, wie dem Volleyball, die Spielfähigkeit vorwiegend durch vielfältige Bewegungsformen im räumlich-zeitlichen Zusammenspiel zwischen den Spielern und ihrem Spielgerät geprägt. Aufgrund der Palette von Bewegungen mit unterschiedlicher, teilweise ausgeprägter Schnelligkeit und Dauer, die parallel eine hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit der einzelnen Teilbewegungen verlangen, werden ständig wechselnde, azyklische Anforderungen an den Körper gestellt. Demzufolge sind Muskulatur, Gelenke sowie auch andere Funktionssysteme des Körpers ständig variierenden Belastungen ausgesetzt (vgl. FRÖHNER 2009A, 2009B). FRÖHNER (2007) warnt aber davor, dass Kinder und Jugendliche ein dem Erwachsenentraining entsprechendes Programm durchlaufen. Er fordert, dass in den ersten Trainingsjahren eine vielseitige motorische Allgemeinausbildung erfahren, die die Entwicklung von Schnelligkeit, Koordination und technisch-taktischem Verhalten im Spiel vorantreibt. Eine frühe einseitige Spezialisierung, sollte zur Belastbarkeitssicherung auf ein Minimum reduziert werden. Folglich sollte im Kindes- und Jugendalter ein großer Trainingsanteil dafür verwendet werden, die allseitige Entwicklung der Muskulatur und der Beweglichkeit vor allem in Sportsportarten mit einseitigen diagonalen Techniken zu fördern. Außerdem sollte die Gesamtbelastung im Blick gehalten werden, um den für die Spielfähigkeit wichtigen psycho-nervalen Zustand und die allgemeine Fitness von Kindern und Jugendlichen zu sichern; denn damit wird der Ermüdungsprozess verzögert und so das Risiko ermüdungsbedingter Verletzungen und Überbelastungsschäden reduziert (vgl. FRÖHNER 2009B, SOMMER 1987).

Die häufigsten Zustands- und Funktionsgrößen im Volleyball, die für die Belastbarkeitssicherung im Nachwuchsleistungssport von besonderem Interesse sind werden von FRÖHNER & TRONICK (2007) wie folgt beschrieben:

- Körperhöhe, die sich durch eine erhebliche Wachstumsgeschwindigkeit in der Pubertät entwickelt;

- Haltungstypologie: häufig in kindlicher und jugendlicher Entwicklung statisch ungünstige Ruhehaltungen (steiles Brustbein, Schultervorstand) mit Begrenzung des Arm- Rumpf-Winkel-Öffnens, Haltungsschwäche mit Gefahr der vermehrten Beanspruchung in der Brust- und Lendenwirbelsäulenregion;
- muskuläre Abschwächungen: untere Bauch-, Gesäß-, obere Rückenmuskeln;
- muskuläre Verkürzungen: Hüftlendenmuskel, hintere und vordere Oberschenkelmuskeln, Waden;

Bis auf die genetisch bestimmte Körpergröße des Menschen, die sich während der puberalen Entwicklungsphase erheblich verändert, lassen sich damit prinzipiell alle anderen Zustands- und Funktionsgrößen durch angemessene Trainingsmaßnahmen so beeinflussen, dass die Belastung zu sichern und die Belastbarkeit zu garantieren ist.

5 Forschungsmotiv – Begründung der Arbeit

Zusammenfassend und als Begründung dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass Rumpffehlhaltungen, resultierend aus einem mangelnden Rumpfstabilisierungsvermögen, nicht nur morphologisch wahrnehmbar sind, sondern ihren Niederschlag auch in einer reduzierten Belastbarkeit des gesamten Haltungs- und Bewegungsapparat finden. Im Sinne einer bestmöglichen Trainierbarkeit, die eine höchstmögliche Belastungstoleranz verlangt, ist dies als negativ zu beurteilen. Darüber hinaus sind Bewegungen, die aus einer insuffizienten Rumpfhaltung erfolgen, mit einem mechanisch ungünstigen Wirkungsgrad verbunden und damit als unökonomisch einzustufen (vgl. BERSCHIN 2011, FISCHER 2010, MILTNER 2010, SOMMER 1987).

Es ist davon auszugehen, dass eine enge Korrelation zwischen der Rumpfhaltung und der Extremitätenbewegung existiert und folgerichtig eine Verbesserung der Extremitätenbewegung nur über eine Optimierung der Rumpfhaltung zu erreichen ist. Am Beispiel des hessischen Volleyball Nachwuchskaders soll mit einem definierten und universell anwendbaren Interventionskonzept gezeigt werden, dass mit Trainingsmodulen zur Haltungsoptimierung, ein im Hinblick auf das sportliche Leistungsvermögen positiver Effekt erzielt werden kann.

Der Untersuchungsschwerpunkt gilt entsprechend der Sportart Volleyball den Sprunghandlungen, die einerseits wesentlich über das Leistungsvermögen und andererseits mit den zu erwartenden enormen Belastungsspitzen die Belastung des Sportlers bestimmen. Die Fähigkeit beidbeinig hoch springen zu können, um dann in der Flugphase Angriffsaktionen, wie den Schmetterschlag oder Defensivaktionen, wie den Block, präzise und mit größtmöglicher Effektivität durchführen zu können, erfordern ein ausgeprägtes Stabilisierungsvermögen im Rumpf und den Extremitäten (vgl. HENNE 1999, SOMMER & HOTTENROTT 1998). Haltungsdefizite in diesem Bereich wirken sich sowohl auf die Bewegungsqualität, als auch auf das Leistungsvermögen negativ aus und verstärken sich in der muskulären Ermüdung. Mit der damit zu korrelierenden Zunahme von Ausweichbewegungen erhöht sich das Risiko von Verletzungen im Bereich der unteren Extremitäten (vgl. BERSCHIN 2011, BERSCHIN 1999, SOMMER ET AL. 1987).

Als grundsätzliche Ursache lassen sich zentralnervöse Fehlsteuerungen annehmen, die sich in der Stützphase in einem in Relation zum Beugetonus der Muskelbeugeschlinge

zu hohen Strecktonus der Muskelstreckerschlinge und damit reduzierten Muskelstabilität manifestieren und zu Muskeldysbalancen mit Muskelverkürzungen führen (vgl. SOMMER 2010, SOMMER 1988). Der Behebung solcher die Bewegung störender Muskeldysbalancen wird deshalb im Interesse der Leistungsoptimierung, wie auch Überbelastungsprävention, verstärkt Rechnung getragen (vgl. BRUHN 2006, JANHSEN 2001, SOMMER & ROHRSCHEIDT 1988).

SOMMER (1988) und WEINECK (2009) verweisen auf die besondere Beachtung der Belastbarkeit und Trainierbarkeit im Kindes- und Jugendalter. Vor allem in den Phasen der Wachstumsschübe sollte dem Erhalt oder der Herstellung einer suffizienten muskelgesteuerten Haltung des Haltungs- und Bewegungsapparates eine hohe Priorität beigemessen werden. Deshalb kommt unter dem Aspekt der Leistungsoptimierung und Verletzungsprophylaxe sowie der Bewegungsqualität dem Rumpfstabilisierungsvermögen im Rahmen des Volleyballtrainings v.a. bei heranwachsenden Jugendlichen eine besondere Bedeutung zu (vgl. SOMMER ET AL. 1987).

Die im Volleyball wirkenden mechanischen Kräfte stellen für den Haltungs- und Bewegungsapparat eine enorme Belastung dar und müssen deshalb durch ein gezieltes, qualitativ hochwertiges Training, unter besonderer Berücksichtigung der Belastbarkeit des Haltungs- und Bewegungsapparates, reduziert werden (vgl. HENNE 1999). Zu hohe Belastungen und muskuläre Ermüdung demaskieren und verstärken Fehlhaltungen und Ausweichbewegungen des Rumpfes und der Extremitäten, was in der Ausgestaltung des Trainings, vor allem im Jugendbereich verkannt wird; denn jede Belastung, die mit einer Ausweichbewegung verbunden ist, führt zu entsprechenden muskulären Dysbalancen mit Störungen des Haltungs- und Bewegungsprogrammes. Sind Kinder und Jugendliche beispielsweise starren Bewegungsformen ausgesetzt (Fixierung auf eine bestimmte Spielposition), besteht die Gefahr muskuläre Dysbalancen zu verstärken.

Der stabile und aufgerichtete Rumpf mit einer optimal aufgerichteten Wirbelsäule, einem entsprechend stabil aufgerichteten Becken und einem stabil gehaltenem Schultergürtel gilt als Bewegungsbasis für die unteren und oberen Extremitäten. Entsprechend soll das für diese Arbeit konzipierte Kraft- und Haltungstraining helfen, die genannten Haltungs- und Belastungsprobleme am passiven und am aktiven Bewegungsapparat zu beherrschen. Es soll mit einem erreichten besseren Stabilisierungsvermögen des Rumpfes weniger der überbelastungs- und verletzungsprophylaktische Effekt nachgewiesen werden (vgl. BRUHN 2006, BRUHN ET AL. 2004, GRUBER & GOLLHOFER 2004, GRUBER

2001, JANHSEN 2001, LOHRER ET AL. 2000), als der leistungsoptimierende Effekt eines solchen Trainings auf den heranwachsenden Organismus von Volleyballspielern.

Leistungsverbesserungen im Jugendvolleyball und Erwachsenenvolleyball beruhen derzeit überwiegend auf einem Technik-Taktik Training. Ein zusätzlich gefordertes, die Sportarten begleitendes Kraft- und Haltungstraining, konnte sich bisher nicht überall etablieren. Lediglich im Hochleistungsbereich der Erwachsenen wird teilweise ein solches Training einbezogen. Im mittleren und unteren Leistungsbereich von Jugendlichen und Erwachsenen Volleyballspielern überwiegt hingegen das klassische Technik-Taktik Training, was aber den hohen physischen Anforderungen auch an diese Spieler nicht gerecht wird.

Deshalb soll in dieser Arbeit gerade für den Leistungsbereich im Jugendalter eine Neugestaltung von Trainingseinheiten und deren Überprüfung erfolgen, um ggf. darauf aufmerksam machen zu können, welche große Bedeutung ein altersadäquates Training im Kindes- und Jugendalter hat. Dabei soll vor Augen geführt werden, wie wichtig es im Sinne der Überbelastungs- und Verletzungsprophylaxe, aber auch der Leistungsoptimierung ist, in das gewöhnliche Technik-Taktik und Konditionstraining, ein Training einzubauen, dass das Rumpfstabilisierungsvermögen trainiert.

Um im Breitensport (niedriger Leistungsbereich) und im Bereich des Jugendtrainings Veränderungen zu bewirken/einzuleiten, soll die vorliegende Arbeit als Leitgedanke und Motivation für einen Umbruch und für ein Durchbrechen bisheriger traditioneller einseitiger Trainingsformen dienen.

6 Methodik

6.1 Untersuchungsziel

Das angestrebte Ziel dieser Arbeit ist es zu überprüfen, ob eine Leistungsoptimierung im Volleyball, über die Optimierung der Körperhaltung bzw. der Fähigkeit diese zu stabilisieren, hervorgerufen werden kann. Es wird als Arbeitshypothese angenommen, dass durch ein spezielles Kraft- und Haltungstraining nicht nur eine Verbesserung der Rumpfstabilität, sondern auch eine Optimierung der Sprungfähigkeit ermöglicht wird. Mittelbar soll gezeigt werden, dass es möglich ist, durch eine bessere Abstimmung der Sensomotorik und die damit verbundene Bewegungskontrolle, eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit erreicht werden kann. Eine verbesserte Ganzkörperstabilisierung soll in Verbindung mit einer verbesserten intra- und intermuskulären Koordination für eine effektivere Nutzung der Vertikalsprungbewegung sowie den damit verbundenen Sprunghandlungen führen. Ebenso soll eruiert werden, inwieweit Volleyballspieler Qualitätskriterien eines hochwertigen Sprungs, die sich auf die Bewegungskontrolle und -koordination während der Absprung- und Landephase beziehen, erfüllen können. Als Voraussetzung dafür soll untersucht werden, ob es durch die Haltungsintervention (Kraft- und Haltungstraining) zu einer verbesserten Körperhaltung mit einem aufgerichteten Becken führt.

6.2 Fragestellung

Grundlage der Studie ist ein funktionales Verständnis, dass eine Kausalbeziehung zwischen Rumpfhaltung und der Extremitätenbewegung existiert (s. Kap 3.1). Wenn dem so ist und sich entsprechend der in Kapitel 3.1 dargelegten Argumentation die Rumpfhaltung entscheidend auf die Extremitätenhaltung und -führung auswirkt, dann muss sich eine Verbesserung der Ausgangsbedingungen (Rumpfhaltung) demnach auch in einer Verbesserung der anhängigen Parameter (Extremitätenführung) auswirken.

Als Hauptfragestellung bleibt zu beantworten, ob sich durch ein spezielles Kraft- und Haltungstraining und die damit verbunden verbesserte Körperhaltung die Leistungsfähigkeit bei Volleyballern verbessern lässt. Dabei definiert sich Leistungsfähigkeit in Sprunghöhe und ein verbessertes Sprung- und Landeverhalten.

Als weitere Fragestellung ergibt sich folglich daraus, ob das Trainingskonzept innerhalb der Versuchsgruppe zu einer signifikanten Anhebung des Leistungsniveaus und somit zu einer verbesserten Leistungsentwicklung führt und inwieweit sich diese von den Ergebnissen eines konventionellen Trainings der Kontrollgruppe unterscheiden.

6.2.1 Fundierung der Fragestellung

Dazu wurde in einer Vorstudie das grundsätzliche Vorgehen bezüglich Auswahl und Systematisierung der Programminhalte sowie Eignung und Auswahl der Messinstrumente erprobt. Das konzipierte Trainingskonzept sollten dabei auf seine Wirksamkeit und seinen Einfluss auf verschiedene Kräfte, Haltungs- und Sprungkraftparameter sowie über Fragebögen auf seine Akzeptanz hin überprüft werden.

Untersucht wurden $n=20$ Volleyballspielerinnen mit aus dem unteren nationalen Leistungsbereich (Durchschnittsalter 22a). Diese wurden prospektiv randomisiert in Versuchs- ($n=10$) und Kontrollgruppe ($n=10$) eingeteilt. Überprüft wurde dabei die Hypothese dass ein zusätzliches Rumpfstabilisationstraining, welches zwei Mal pro Woche jeweils 20 Minuten über einen Zeitraum von 17 Wochen absolviert wurde, einen positiven Einfluss auf die Leistungsvoraussetzungen und Leistungsfähigkeit im Volleyball hat (vgl. ELLENBERGER 2008).

Als Arbeitshypothese wurde die Verbesserung der Gelenkstabilisierung beim Sprung und der Landung sowie die Steigerung der Sprungkraft angenommen. Die Hypothesenüberprüfung erfolgte mit Hilfe einer zweifaktoriellen Varianzanalyse (Testzeitpunkt und Gruppenzugehörigkeit). Vor der siebzehnwöchigen Trainingsintervention wurde im post-hoc Vergleich ein Sprungtest in den Sprungarten *Counter Movement Jump*, *Drop Jump* und *Squat Jump* auf einer Kraftmessplatte (AMTI) durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigten einen positiven Effekt des Trainingsprotokolls auf das Sprungvermögen der Versuchsgruppe beim *Counter Movement Jump* und *Drop Jump*. Keine Verbesserungen hingegen konnten bei dem auch für Volleyballer ungewohnten *Squat Jump* verzeichnet werden. Die signifikant positiven Ergebnisse der Leistungsvoraussetzungen und der Leistungsfähigkeit sind nicht nur im post hoc Vergleich zu erklären, sondern auch im Kontrollgruppenvergleich. Zur Beurteilung der Gelenkführung und -stabilisierung wurden bei allen Sprüngen auch der anterior-posteriore sowie der medio-laterale Kraftverlauf ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Analyse wurden durch den Parameter der 95°-Ellipse der mittleren Verlagerung der Kraftlinie bestimmt (= *Average of*

Displacement). Die Achsenabweichungen in anterior-posterior sowie in medio-lateral lassen sich bei der Versuchsgruppe signifikant verbessert (vgl. ELLENBERGER 2008).

Die Analyse der Kraftlinien beim Sprung bestätigte, dass die Ausweichbewegungen deutlich reduziert wurden. Daraus resultiert eine verbesserte Rumpf- und Extremitätenstabilisierungsfähigkeit (vgl. BERSCHIN 1999, SOMMER ET AL. 1987). D.h. die verbesserte Rumpf- und Extremitätenstabilisierungsfähigkeit resultiert in einer besseren Bewegungsqualität verbunden mit einem energetisch günstigerem Wirkungsgrad beim Krafteinsatz und somit einer höheren Leistungsfähigkeit. Von daher kann begründet vermutet werden, dass durch dieses Trainingskonzept eine aktive Vermeidung von Ausweichbewegungen erreicht werden kann. Als Grund dafür führt BERSCHIN (1999) eine stabile Gelenkführung mit einer jeweils abgestimmten Koaktivierung von Synergisten und Antagonisten zur Vermeidung von Ausweichbewegungen an. Als ausschlaggebend sieht er eine durch das Training verbesserte Beckenaufrichtung. Sie verbessert nicht nur die mechanischen Bedingungen, sondern erfordert auch eine willkürliche Aktivierung von Bauch und Glutealmuskulatur, welche gemäß den Ausführungen von SOMMER ET AL. (1987) sich in einem für eine optimierte Bewegung notwendigen, verbesserten Spannungsgefühl äußert.

6.2.2 Fragestellung und Arbeitshypothesen

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Pilotstudie sollte in der Hauptuntersuchung am Beispiel einer Sportart mit einem besonderen Anspruch an eine mechanisch stabile und energetisch effiziente Extremitätenführung gezeigt werden, ob durch ein spezielles Kraft- und Haltungstraining

- (1) eine Verbesserung der Körperhaltung,
- (2) eine verbesserte Extremitätenführung und
- (3) somit eine Steigerung des Leistungsniveaus erreicht werden kann.

Zugrunde liegt die Hypothese, dass eine Verbesserung der Extremitätenbewegung nur über eine Verbesserung der Rumpfhaltung zu erreichen ist. Dazu wird ein Interventionsverfahren benötigt, welches begründet vermuten lässt, diese Ziele zu erreichen. Als Ergebnis der Untersuchungen der Arbeitsgruppe Sommer, Berschin und Fischer wurde ein solches Programm entwickelt und unter anderem von FISCHER (2010) unter dem Programmtitel Marburger Haltungsschule publiziert (s. Kap. 3.3).

Daran anschließend lassen sich folgende Haupthypothesen ableiten:

1. Sprungqualität

Die Sprungqualität der Versuchsgruppe verbessert sich signifikant und das sowohl im Längsschnitt als auch im Vergleich zur Kontrollgruppe.

D.h. die anhand vorher festgelegter Qualitätskriterien gemessene Sprungqualität nähern sich durch die Intervention einem optimalen Sprung an, unterdessen treten bei der Kontrollgruppe keine prägnanten Veränderungen während der drei Phasen des Sprunges auf. Es wird erwartet, dass sich die Qualität in diesem Zusammenhang in den einzelnen Phasen der Sprungbewegung positiv beeinflussen lässt. Dementsprechend wird eine positive Veränderung des Sprungverhaltens nicht nur beim *Counter Movement Jump*, sondern auch beim diagonalen Angriffsschlag prognostiziert.

2. Sprunghöhe

In Folge der Verbesserung der Sprungqualität findet zusätzlich eine Steigerung der Sprunghöhe der Probanden der Versuchsgruppe sowohl im Längsschnitt als auch im Vergleich zur Kontrollgruppe statt.

Das bedeutet, dass ein spezifisches Kraft- und Haltungstraining zu einer signifikanten Verbesserung der Sprungkraftfähigkeit und somit zu einer Steigerung der Sprunghöhe beim *Counter Movement Jump* der Versuchsgruppe auf der Kraftmessplatte führt. Ferner wird davon ausgegangen, dass das konventionelle Training auf diesem Niveau keinen nennenswerten Einfluss auf die Sprungkraftfähigkeit hat und es somit zu keinem bedeutenden Anstieg oder sogar zu einer Stagnation der Leistungsentwicklung in Bezug auf die Sprunghöhe der Kontrollgruppe kommt.

3. Extremitätenführung - Landeverhalten

Die Extremitätenführung und das dadurch bedingte Landeverhalten nach einem Sprung werden durch das Interventionsprogramm innerhalb der Versuchsgruppe und im Gegensatz zur Kontrollgruppe optimiert.

Durch das Trainingskonzept lassen sich die zu erwartenden Ausweichbewegungen sowohl in anterior-posteriorer Ebene, als auch in medio-lateraler Ebene bei der Landung nach einem Sprung innerhalb der Versuchsgruppe reduzieren. Somit wird durch die Intervention das Landeverhalten optimiert. Dagegen wird innerhalb der Kontrollgruppe erwartet, dass es zu keiner markanten Verbesserung der Extremitätenführung kommt und somit auch keine positiven Entwicklungen im Bezug auf das Landeverhalten zu erwarten sind.

4. Rumpfmuskelkraft

Durch die Trainingsintervention wird die Rumpfmuskelkraft im Gegensatz zur Kontrollgruppe innerhalb der Versuchsgruppe signifikant gesteigert.

D.h., dass ein wesentlicher Kraftzuwachs der durch die Intervention beanspruchten Muskelgruppen stattfindet. Zudem wird davon ausgegangen, dass ohne die Intervention kein nennenswerter Kraftzuwachs dieser Muskelgruppen entsteht. Es wird eher eine Stagnation prognostiziert.

6.3 Methodisches Vorgehen

6.3.1 Untersuchungskollektiv

Zur Untersuchung wurde ein Kollektiv von n=60 Volleyballspielern/ Volleyballspielerinnen des hessischen D-Kaders prospektiv randomisiert und in eine Versuchs- (n=48) und eine Kontrollgruppe (n=12) eingeteilt. Die Auswahl der Probanden bezieht sich auf den kompletten D-Kader der Jahrgänge 93/94, 94/95, 95/96 und 96/97 des hessischen Volleyball Verbandes. Neben diesem Auswahlkriterium spricht auch die dadurch vereinfachte Logistik. Zudem liegt der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit auch in der Intervention des Trainingsaufbaus bei Kindern und Jugendlichen.

Tabelle 3 fasst die soziodemografischen und anthropometrischen Daten der Probanden zusammen. Die Daten der Versuchs- und Kontrollgruppe werden dabei gegenübergestellt. Aufgeführt sind alle Probanden, welche an der Untersuchung bis zum Ende teilgenommen und die Abschlussuntersuchung absolviert haben. Die Geschlechteraufteilung ist ausgewogen, da jeweils zwei Kader der weiblichen und männlichen Auswahlspieler für die Testung herangezogen wurden. Die Kontrollgruppe setzt sich aus Spielern zusammen, die im erweiterten Kreis des Kaders sind und ebenfalls regelmäßig beobachtet werden konnten.

Tabelle 3: Untersuchungskollektiv

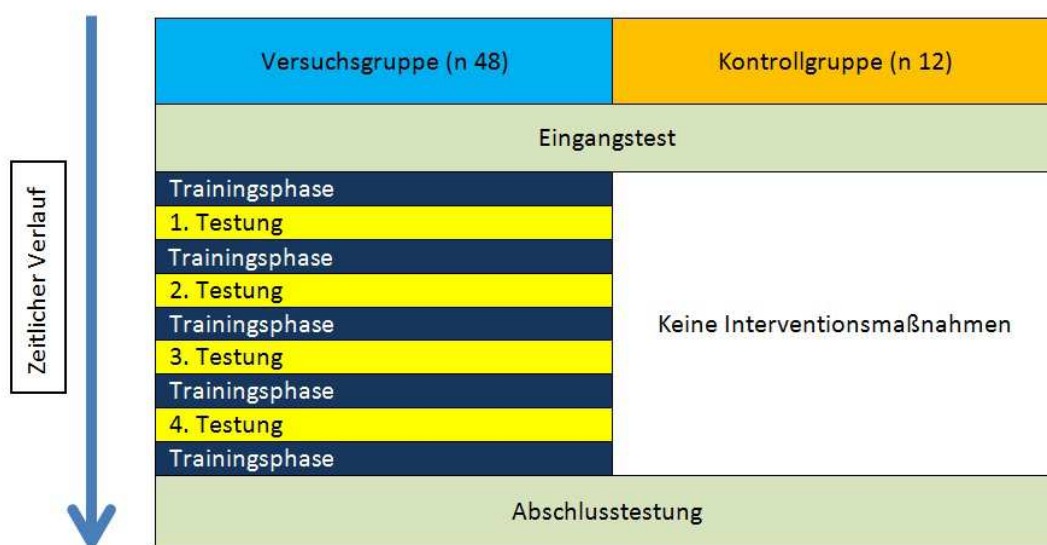
VG		KG
48	N	12
24 männl./24 weibl.	Geschlecht	6 männl. / 6 weibl.
14,5 Jahre (1,16)	Alter	14,6 Jahre (1,07)
177 cm (0,84)	Größe	172,8 cm (0,96)
70,8 kg (11,51)	Gewicht	67,2 kg (5,7)
22,5 (2,5)	BMI	22,4 (1,9)

6.3.1.1 Hypothesenprüfung

Die Hypothesenüberprüfung erfolgt mit Hilfe einer Multivarianzanalyse sowie einer Effektstärkenbestimmung im Prä-Post-Design Vergleich.

6.3.1.2 Untersuchungsdesign

Alle Studienteilnehmer wurden im prä-post-Design vor Beginn der Intervention und am Ende in einem zeitlichen Abstand von 12 Monaten untersucht (Abb. 28). Die erste Datenerhebung erfolgte im März 2010, die abschließende Untersuchung der Jungen und Mädchen fand im März 2011 auch statt. Aufgrund dessen, dass die Termine der Versuchsgruppe immer an einzelne Vorbereitungs- und Trainingslehrgänge der verschiedenen Kader gekoppelt waren, fanden regelmäßige Zwischenuntersuchungen statt. Demgegenüber wurde die Kontrollgruppe aus logistischen und strukturellen Gründen nur in einem Eingangs- und Abschlusstest untersucht.

**Abbildung 28: Grafische Darstellung des Versuchsdesigns**

Die Interventionsphasen der Studie waren in der Versuchsgruppe geprägt durch die Trainingsintervention des ausgearbeiteten Trainingskonzepts (s. Kap. 3.3.3), welches in das alltägliche Training der Probanden integriert war. Dafür absolvierte das Kollektiv der Versuchsgruppe während der Trainingsintervention, angeleitet durch instruierten Trainer, das spezifische Kraft- und Haltungstraining, währenddessen die Kontrollgruppe, wie gewohnt, ihr Standardtraining durchführte. Um zu kontrollieren, wie oft das vorgegebene Training absolviert wurde, sollten die Probanden dies auf einem Trainingsprotokoll zusammen mit ihren Trainern dokumentieren (s. Kap. 6.3.6.2). Die Probanden der Versuchsgruppe sollten die Übungen mindestens drei Mal pro Woche zu Beginn des regulären Volleyballtrainings absolvieren. Dabei sollte der Aufwand für die Übungen ca. 15-20 min. betragen. Ausführliche Beschreibung der Übungen und deren Ausführung werden in Kapitel 3.3.3 erläutert und dargestellt. Wichtig für das gesamte Projekt war, dass immer die Qualität der Übungen im Vordergrund stand und nicht die Quantität!

6.3.2 Quantitative Datenerhebung

Im Vorfeld der Untersuchung wurden die Trainer und Betreuer der Probanden bei einer Multiplikatorenschulung mit dem Ablauf sowie dem gesamten Procedere der einzelnen Untersuchungen instruiert. Die Probanden durchliefen zu allen Zeitpunkten das gleiche Testprocedere. Vor jeder Datenerhebung wurden die Anthropometrischen Daten erhoben. Im Zuge dessen wurden durch einen Eingangsfragebogen ermittelt, ob die Probanden verletzungsfrei sind und welche körperlichen Belastungen unmittelbar vor den Untersuchungen stattgefunden haben. Anschließend wurden die verschiedenen Untersuchungen in folgender Reihenfolge durchlaufen:

1. Counter Movement Jump auf der Kraftmessplatte
2. Diagonaler Angriffsschlag im Feldversuch
3. Bauchmuskelkrafttest - Abdominometrie

Zum Abschluss der Datenerhebung füllten die Probanden nach der Abschlussuntersuchung einen Evaluationsbogen aus. Im Folgenden werden die einzelnen Untersuchungen vorgestellt und beschrieben.

6.3.3 Counter Movement Jump

6.3.3.1 Aufbau Counter Movement Jump

Der Counter Movement Jump ist ein Testverfahren zur Ermittlung der Sprungkraft. Dieser unter Laborbedingungen durchgeführte Sprung dient mit den dynamisch (Kraftmessplatte) erhobenen Daten als Basis für die Ermittlung der Sprunghöhe, der Erfassung der Ausweichbewegungen innerhalb der verschiedenen Phasen des Sprunges und der Aufnahme der Kraftspitzen bei der Landung. Zudem werden die Laborsprünge kinematisch (Videoanalyse) erfasst und analysiert.

6.3.3.1.1 Dynamometrie

Zur Erfassung der Bodenreaktionkräfte wurde eine im Boden eingelassene Kraftmessplatte von AMTI verwendet. Diese ist mit einem PC verbunden, der die gemessenen Daten der Kraftmessplatte in einem speziellen Programm (BioDaq Version 1.0) erfasst. Die Kraftmessplatte erfasst sowohl Kräfte F_x , F_y , F_z als auch Drehmomente M_x , M_y , M_z (Abb. 29). Über eine Modellrechnung wurde daraus der Kraftangriffspunkt als Center of Pressure (COP) gemessen, dessen räumlich zeitlicher Verlauf wurde von dem Messsystem zu einer 95% Ellipse zusammengefasst, welche als Maß für die Varianz des Kraftmittelpunkts herangezogen wurde.

Alle Messdaten der Kraftmessplatte Daten wurden anschließend auf einem anderen PC mit dem Programm BioSoft Version 1.0, SPSS Version 16.0 und Microcal™ Origin® Version 6.0 ausgewertet und verarbeitet werden.

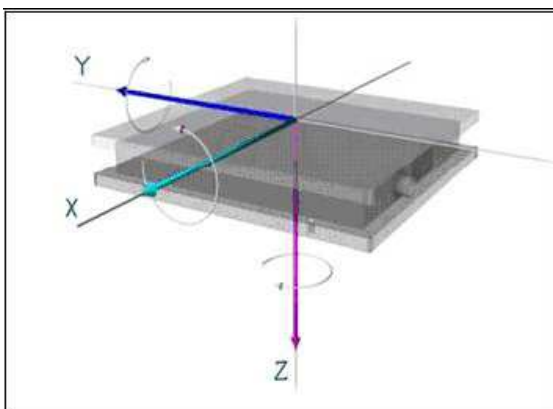


Abbildung 29: Darstellung der Achsen der Kraftmessplatte im dreidimensionalen Raum (nach: AMTI 2010).

Mit der Kraftmessplatte wurden die Counter Movement Sprünge der Probanden während der Laboruntersuchungen gemessen und mit einer Videokamera (JVC) aufgezeichnet.

6.3.3.1.2 Kinemetrie

Zur Erfassung des Bewegungsablaufs wurde ein System aus einem Eichwürfel und einer Kamera konstruiert. Notwendige Voraussetzung für das Verfahren war ein Raumkalibrierung. Dazu wurde das untersuchte Raumvolumen anhand eines Eichwürfels (1,5 m x 1,5 m x 1,5 m) kalibriert. Er wird zentral auf der Kraftmessplatte positioniert (Abb. 30). An Hand des Würfels sollte später eine Vergleichbarkeit der einzelnen Sprünge der Probanden erzeugt werden. Die auf den unteren Extremitäten markierten Punkte befanden sich innerhalb des kalibrierten Raumvolumens der geometrischen Figur. Sie sind so an den Probanden angebracht, dass sie während des Sprunges sowie der gesamten Bewegung den Würfel nicht verlassen. Die Schulterpunkte lagen generell und beim Sprung bis max. 70 cm außerhalb des Raumvolumens.

Um die spezifischen Messpunkte an Fuß-, Knie-, Hüft- und Schultergelenk besser erkennen zu können, wurden die Probanden mit reflektierenden Markern an den jeweiligen Gelenken gekennzeichnet (Abb. 30). Die Markierung der ausgewählten anthropometrischen Punkte (Tab. 4) erfolgt manuell mit Hilfe von selbstklebenden, weißen runden Markern (Durchmesser: 2 cm).

Tabelle 4: Ausgewählte anthropometrische Punkte

Bezeichnung	Beschreibung
Sr; Sl	Schulter (im Bereich des Acromiums)
Hr; Hl	Hüfte (im Bereich des Trochanter major)
Kr; Kl	Knie (im Bereich der Patella)
Fr; Fl	Fuß (im Bereich des Sprunggelenks)

Die Videokamera steht im Abstand von vier Metern auf einem eineinhalb Meter hohen Stativ. Für einen einheitlichen Hintergrund der Filmaufnahmen sorgte eine vom Boden bis zur Decke reichende graue Leinwand. Aufgrund des einheitlichen Hintergrunds, ist eine bessere Bearbeitung der Filmaufnahmen möglich (Abb. 30).



Abbildung 30: Versuchsaufbau: Eichwürfel, Proband mit Markern, Strahler- und Kameraposition.

6.3.3.2 Durchführung Counter Movement Jump

Die Sprungtests im Labor wurden nur beim Prä- und Posttest der Studie mit der Videokamera aufgezeichnet. Vor dem jeweiligen Sprung erklärte der Versuchsleiter die Vorgehensweise verbal und veranschaulichte visuell den genauen Ablauf des Sprungs. Anschließend erfolgte die Möglichkeit eines Probesprungs.

Vor jedem Sprung wurde die Kraftmessplatte auf den Wert Null kalibriert. Für diese Untersuchung wurde der *Counter Movement Jump* eingesetzt. Die Probanden stehen bei diesem Sprung aufrecht und mit schulterbreit gespreizten Beinen zentral auf der Messplatte. Aus dieser stabilen Standposition, wird mit Hilfe einer schnellen Ausholbewegung der Arme und einer leichten Knie und Hüftbeugung, die parallel zu der Armbewegung verläuft, ein maximaler Vertikalsprung realisiert. Dabei führen die Ausholbewegung der Arme und die dadurch erzeugte Vorspannung in der Sprungmuskulatur bereits im unteren Umkehrpunkt der Bewegung zu einer positiven Kraft, die größer ist als die Kraft, die durch das eigene Körpergewicht erzeugt wird. Weswegen *Counter Movement Jumps* auch zur Untersuchung der maximalen Sprunghöhe herangezogen werden. Die Probanden hatten neben der Aufgabe, maximal hoch zu springen, auch die Aufgabe, an dem gleichen Ort zu landen, an dem sie zuvor abgesprungen sind. Der *Counter Movement Jump* sollte möglichst immer gleich ausgeführt und mit je drei Wiederholungen absolviert werden. Vor jedem der drei Sprünge wurde ein bestimmtes Startsignal festgelegt auf welches die Probanden mit dem Sprung beginnen.

Messkriterium für die sportliche Leistungsfähigkeit ist bei diesen Sprüngen auf der Kraftmessplatte die gemessene Sprunghöhe und die Ausweichbewegungen nach der Landung. Durch sie können Angaben über eine eventuelle Verbesserung der Stabilität,

die durch das Training in den Bereichen des Hüftgelenks und den Gelenken der unteren Extremitäten gemacht werden. Die Bilderfassung erfolgt frontal mit einer JVC Digital Video Kamera und folgenden Einstellungen (Tab. 5):

Tabelle 5: Verwendete Kameraeinstellungen

Bildfrequenz:	120 Hz
Verschlusszeit:	1/250 s
Brennweite:	6 mm
Bildauflösung:	1024 x 768 Pixel
Format:	4:3

Die Punkterfassung und -verfolgung dient der Erfassung und Speicherung der vorher festgelegten anthropometrischen Punkte in Zusammenhang mit deren Bildkoordinaten (x ; y). Da sich die Lage der Punkte während der Bewegungsabläufe verändert, ist auch die Erfassung des zeitlichen Verlaufs ($x(t)$; $y(t)$) von Bedeutung.

6.3.3.3 Auswertung der Messdaten

Die Bearbeitung und Auswertung der Daten spezifiziert sich anhand der verschiedenen Untersuchungen. Die Messwerte des Sprungtests im Labor werden über eine Kraftmessplatte aufgezeichnet und die Rohdaten auf einem angeschlossenen Computer gespeichert. Die so gewonnenen Daten werden unter zu Hilfenahme von verschiedenen Computerprogrammen analysiert und ausgewertet. Zur Datenaufnahme wird mit Bio-Daq Version 1.0 gearbeitet. Für die weitere Analyse wird zunächst mit Bio-Soft Version 1.0 fortgefahren. Anschließend werden die Rohdaten in eine Excel Tabelle (Excel 2003) übertragen. Diese so zusammengestellten Daten werden mit Microcal TM Origin® Version 6.0 als Graph dargestellt, sodass die Werte der verschiedenen Bereiche abgelesen werden können.

Dabei werden von der Kraftmessplatte sowohl vertikale als auch horizontale Kräfte, die bei dem Sprung entstehen, gemessen. Diese Daten werden anschließend mit Hilfe von Excel und SPSS 19.0 analysiert und ausgewertet. Relevant für die Ergebnisse sind dabei die Werte der Sprungphase der Probanden bei den jeweiligen Sprüngen. Die aufgezeichneten Werte werden anschließend in die reale Sprunghöhe umgerechnet. Diese Weiterhin sind die Werte der Ergebnisse des Punktes der maximalen *Stiffness* und die der Vor- und Seitwärts-Drehbewegungen während der Landung von Relevanz. Evaluiert

wurde dabei die Körperschwankung über die Streuung des Verlaufs des Kraftangriffspunkts (*Center of Pressure*).

Die parallel aufgezeichneten Videoaufnahmen werden von der Videokamera auf einen PC übertragen und dort unter Zuhilfenahme der Sprungkriterien (s. Kap. 6.3.4.3) mit einem Videoplayer analysiert. Die weitere Auswertung und grafische Darstellung erfolgt mit Excel.

Für die statistische Auswertung der Ergebnisse werden die üblichen deskriptiven Verfahren (Mittelwert (Mw) und Standardfehler (SE)) genutzt. Signifikante Unterschiede der Testintervention bei den beiden Trainingsgruppen (Versuchs-(VG) und Kontrollgruppe (KG)) werden mit Hilfe von SPSS 19.0 analysiert und ausgewertet. Unter Zuhilfenahme des gepaarten *t*-Test werden die Signifikanzen ermittelt (Hier gilt: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$). Des Weiteren wird durch eine Multivarianzanalyse die Effektstärke der Prä- und Posttest ermittelt und dargestellt. Hier gilt nach Cohen (1988): $d \geq 0,20$ – kleiner Effekt, $d \geq 0,50$ – mittlerer Effekt, $d \geq 0,80$ – großer Effekt; angegeben wird der Wert in Eta (η).

6.3.4 diagonalen Angriffsschlag

6.3.4.1 Aufbau des diagonalen Angriffsschlag

Der diagonale Angriffsschlag wurde dazu verwendet, eine volleyballtypische Sprunghandlung im Feldversuch zu erzeugen und zu dokumentieren. Die so gewonnenen Daten dienten dem Vergleich mit denen des Counter Movement Jumps unter Laborbedingungen. Durch die Videoaufzeichnung sollten zudem eventuelle nicht berücksichtigte Faktoren, wie die Auswirkung einer spielnahen Situation, Mitspieler und Ball auf die Probanden, festgehalten werden.

Der Untersuchungsaufbau in der Sporthalle bestand aus einer Netzanlage inklusive der Netzannten. Diese wurde auf einem dafür vorgesehenen Volleyballfeld (Maße: 9m x 18m) aufgebaut (Abb. 31). Zudem wurden eine Videokamera (JVC) und zwei Strahler so platziert, dass eine gesondert gekennzeichnete Fläche optimal im Bilde ist. Diese Absprungs- und Landezone wurde mit einem farbigen (roten) Abklebeband markiert. Auf jeder Feldseite wurde ein drei mal drei Meter großes Quadrat abgeklebt. Dieses Quadrat befand sich jeweils auf der Außenangreiferseite (von der Feldhälfte gesehen immer links im Feld). Die Kamera steht jeweils immer in Verlängerung der Angriffszone auf der anderen Feldseite. Die Probanden bekamen die Anweisung, in diesem gekennzeichneten Feld abzuspringen und zu landen. Die ganze Übung erfolgt aus der Be-

wegung heraus. Zu Beginn jedes Durchgangs wurde jeder Proband namentlich vom Kameramann aufgerufen. Je nach Probandengruppe wurde die Netzhöhe angepasst (2,24 m bei Mädchen und 2,43 m bei den Jungen). Während der Untersuchung wurden Volleybälle der Marke Mikasa verwendet, welche die Probanden auch während der heimischen Trainingseinheiten und auf den Kaderlehrgängen benutzen.

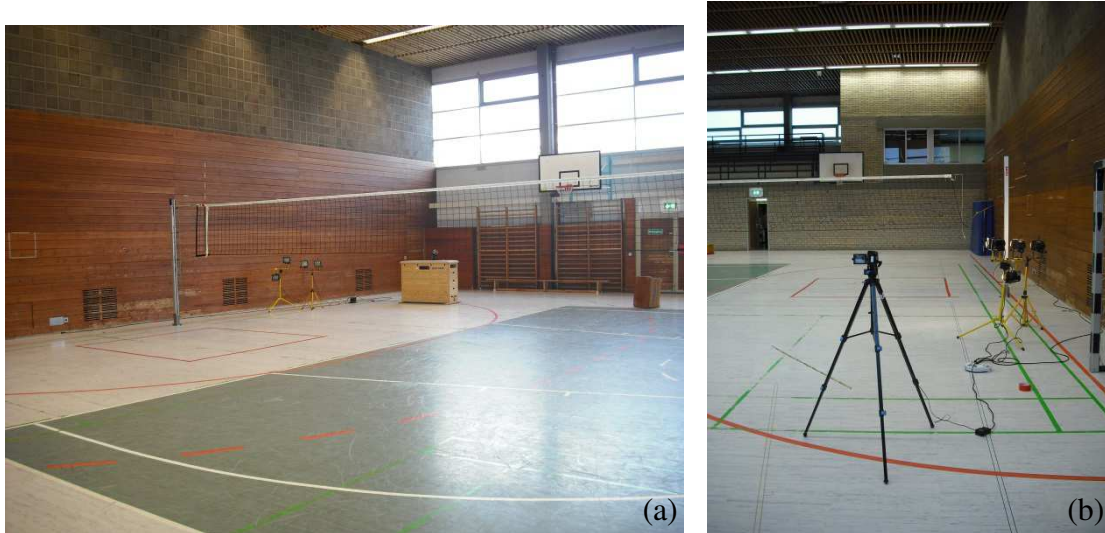


Abbildung 31: Aufbau in der Sporthalle: Netzanlage (a), Kamera und Strahler (b).

6.3.4.2 Videometrie des diagonalen Angriffsschlages

Mit Hilfe der Videometrie erfolgte die Auswertung der in der Halle durchgeführten Angriffssprünge. In erster Linie sollte untersucht werden, ob die Probanden in der Lage sind, die Qualität ihres *Counter Movement Jumps* auf den Sprung einer Spielsituation zu übertragen, bzw. festzustellen welche Abweichungen es dabei gibt.

Dafür springen die Probanden aus einem vorher mit roten Klebebändern abgeklebten quadratischen Absprungraum (3x3m) ab und landen wieder in diesem (Abb. 32). Sie haben die Aufgabe möglichst hoch zu springen. Der Bewegungsablauf dieses Sprungs gleicht bis ins Detail dem, der während eines Volleyballspiels mehrfach vollzogen wird. Damit ein Angriffsschlag möglichst effektiv ausgeführt werden kann, ist eine möglichst hohe Handlungshöhe von Bedeutung. Im Vergleich zum *Counter Movement Jump* ist neben einer guten Ballkontrolle und effizienter Schlagausführung das richtige Timing des Absprungs im Verhältnis zur Flugkurve des Balles von Bedeutung. Dies stellt eine zusätzliche und nicht zu unterschätzende Schwierigkeit dar.

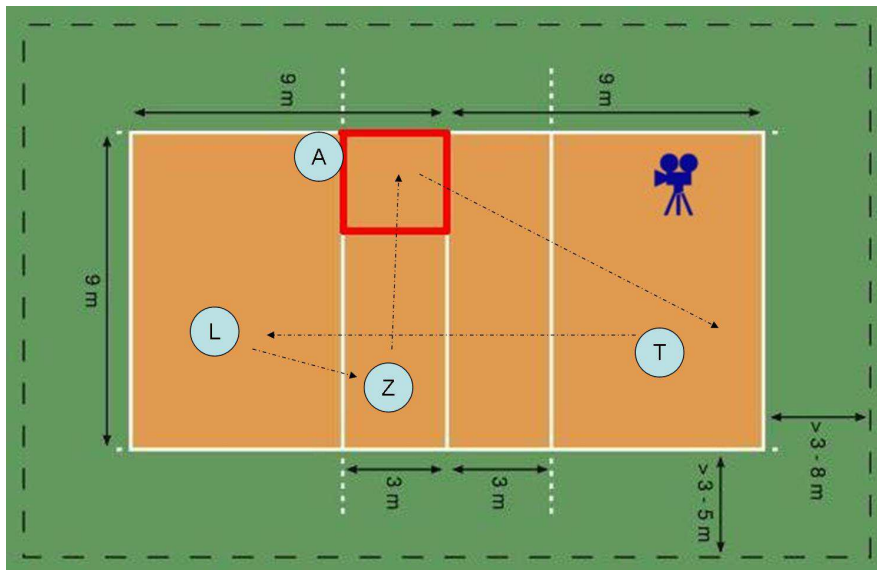


Abbildung 32: Aufbau des Feldversuchs. A steht für Angreifer (Position 4), Z für Zuspieler (Position 2), L für Libero/Annahmespieler (Position 1) und T für Trainer (gegenüberliegendes Feld). Gestrichelte Linien Ballflugbahn startend von T.

Die Probanden absolvieren den Angriffsablauf fünf Mal, da durch die nicht immer kontinuierlich gespielten Bälle aus der Bewegung eine gewisse Fehlertoleranz existiert. Auf diese Weise können so Bewegungsreaktionen auf verschiedene Zuspiele berücksichtigt werden. Zur Untersuchung des Sprung- und Landeverhaltens der Probanden wurde folgender Feldtest konzipiert.

Der Ablauf ist wie folgt festgelegt. Ein lockerer Ball wird vom jeweiligen Trainer über das Netz auf die Annahme Position 1 in das Hinterfeld geworfen. Dort befindet sich ein Annahmespieler, der den Ball nach vorne auf Position 2 baggert (unteres Zuspiel). Der Zuspieler, der sich dort befindet hat die Aufgabe die Annahme im oberen Zuspiel sofort weiter auf die Angriffsposition 4 weiterzuspielen. Der auf der Angriffsposition bereitstehende Proband führt die Angriffsschläge in die diagonale Feldhälfte auf der Gegenseite aus. Nach jedem Schlag löst sich der Angriffsspieler wieder vom Netz, um Anlauf für den nächsten Ball zu nehmen. Dabei soll er sich immer mindestens bis hinter die Dreimeter-Linie lösen, um erneut Anlauf zu nehmen (Abb. 32).

6.3.4.3 Merkmale eines qualitativ hochwertigen Sprunges

Ein qualitativ hochwertiger Sprung im Volleyball ist durch zwei wesentliche Komponenten gekennzeichnet:

- 1) Für die Sprungqualität ist die maximale Sprunghöhe (mit der eine größtmögliche Handlungshöhe einhergeht) aufgrund der Spielcharakteristik von entscheidender Bedeutung.
- 2) Aus sportmedizinischer Sicht wird ein Sprung mit einem sehr geringen Verletzungsrisiko (vor allem in der Landephase) als qualitativ hochwertig eingestuft.

Die Beurteilung der Sprungqualität und die Festlegung der Kriterien, die im Folgenden als Kennzeichen eines qualitativ hochwertigen Sprungs festgelegt sind, beruhen im Wesentlichen auf denen von SOMMER (1983, 1987 1988, 1998, 2010) beschriebenen Bewegungsstörungen in den einzelnen Sprungphasen. Dabei führen sie bei Erfüllung bzw. Nichterfüllung einerseits zu einer Optimierung oder Reduzierung der Sprungleistung (Sprunghöhe und Ausweichbewegungen), andererseits aber auch zu einer Minimierung oder Steigerung des Verletzungsrisikos, da sie Kennzeichen einer muskulären Balance bzw. Dysbalance, sowie eines stabilen und kontrollierten bzw. instabilen und unkontrollierten Rumpfes sind. Ergänzend dazu wird in vielen orthopädischen Fachzeitschriften (vgl. FICKLSCHERER 2008, RÖSSLER & RÜTHER, 2005, WÜLKER 2010) auf Fehlstellungen im Bereich der unteren Extremitäten hingewiesen, die eine ungünstige Belastungsverteilung und somit ein erhöhtes Verletzungsrisiko zur Folge haben. VAN HUSEN (2005) untersuchte die Belastungsverteilung im Bereich der unteren Extremitäten im Volleyball und gibt entsprechende Hinweise zu einer optimalen anzustrebenden Landetechnik. Diese Hinweise und einige Anmerkungen zu einer im Sinne der Leistungssteigerung funktionellen Sprungtechnik (vgl. FEIRI ET AL. 2007, KUHLMANN 2010, TILP 2004), bilden die Basis für die Merkmale, die als Kriterien eines qualitativ hochwertigen Sprunges herangezogen werden sollen:

1. Kennzeichen einer qualitativ hochwertigen Absprungphase:

- kein Absinken des Fußinnen- bzw. Fußaußenrandes
- keine Valgusstellung der Kniegelenke
- keine Innenrotation des Oberschenkels
- stabiler, koordinierter und kontrollierter Rumpf- und Kopfbereich

2. Kennzeichen einer qualitativ hochwertigen Flugphase:

- keine Supinationsstellung des Fußes
- keine seitendifferente und unkontrollierte Fußhaltung
- stabiler, kontrollierter und koordinierter Rumpf- und Kopfbereich

3. Kennzeichen einer qualitativ hochwertigen Landephase:

- eine Supinations- bzw. Pronationshaltung der Füße
- gleichzeitige Lastaufnahme der Füße
- stabile, ausbalancierte Landung
- gedämpfte Landung (Vorfuß-Rückfuß-Landung)
- keine Valgusstellung der Kniegelenke
- stabiler, kontrollierter und koordinierter Rumpf- und Kopfbereich
- Punkt der Landung entspricht dem des Absprungs

4. Kennzeichen einer qualitativ hochwertigen Sprungfolge:

- Die Sprungqualität nimmt mit steigender Anzahl an Sprüngen nicht ab

5. Besonderes Merkmal eines qualitativ hochwertigen Angriffsschlages:

- Der Treffpunkt des Balles entspricht dem höchsten Punkt der Flugphase

Die unter 4. und 5. festgehaltenen Kriterien werden in der Auswertung und in den Ergebnissen der Landephase zugeordnet.

Des Weiteren werden Fehlstellungen, die sich bereits im aufrechten Stand zeigen, statistisch aufgenommen. Erfasst werden diesbezüglich:

- übermäßige Supinatoren
- übermäßige Pronatoren
- X-Bein-Stellung der unteren Extremität
- O-Bein-Stellung der unteren Extremität

Ein Sprung wird als ein schlechter Sprung bewertet, wenn im Vergleich zu den vorherigen zunehmend weniger Qualitätsmerkmale gezeigt werden bzw. negative Merkmale, wie die Valgusstellung der Kniegelenke, stärker ausgeprägt auftreten.

6.3.4.4 Auswertung der Sprungaufzeichnung

Die Auswertung der Sprungaufzeichnung wird unter Berücksichtigung markanter Haltungsmerkmale vollzogen. Diese werden im Ergebnissteil als ein Ergebnis dargestellt. Vor dem eigentlichen Sprung werden schon sichtbare Fehlstellungen der unteren Extremitäten im Stand festgehalten. Dabei wird besonders auf vorhandene Übersupinationen bzw. Überpronationen der Füße geachtet, sowie auf Valgus- und O-Beinstellung der

Beine, da im Rahmen dieser Arbeit auch ein möglicher Zusammenhang zwischen diesen Fehlstellungen und dem qualitativen Sprungverhalten eruiert werden soll.

Die Analyse der Sprünge wird in drei Phasen unterteilt, die jeweils separat untersucht werden. Zur Beurteilung der Absprungphase werden folgende Elemente, wie etwaigen Pronationen und Supinationen, X-Beinstellung sowie Innenrotationen in den Fokus gestellt. Zusätzlich zu der Beurteilung der unteren Extremität soll hier die Kontrolle des Rumpfes beurteilt werden.

Die Auswertung der Flugphase beinhaltet insbesondere die Kontrolle des Rumpfes und die Koordination der gesamten unteren Extremität. Am komplexesten wird die Analyse der Landephase, dabei soll insbesondere die Stellung der unteren Extremität beurteilt werden, aber auch die grundsätzliche Stabilität der Landung. Das Augenmerk soll hierbei auf die Härte der Landung, die Verteilung der Last, etwaige Pro- oder Supinationen, die Position der Beine (X-/O-Beinstellung) sowie auf die Stabilität bei der Landung gesetzt werden. Fokussiert werden sollen in diesem Zusammenhang allerdings auch die Stabilität des Rumpfes sowie die koordinative Kontrolle des Rumpfes.

Übergreifend soll abschließend die Bewertung der Sprungqualität unabhängig von den einzelnen Sprungphasen bzw. speziell für den Angriffsschlag erfolgen. Dementsprechend soll beurteilt werden, ob sich ein Qualitätsverlust mit steigender Anzahl der Sprünge abzeichnet, ob der Balltreffpunkt am höchsten Punkt der Flugkurve erfolgt und ob der Landeort gleich dem Absprungort ist.

Die Bewertung der Sprungqualität ist so angelegt, dass der Proband in den einzelnen Phasen des Sprunges für jeweils ein erfülltes Qualitätskriterium, z.B. wenn in der Absprungphase keine Valgusstellung der Beine beobachtet werden kann, einen Punkt bekommt. Es wurden insgesamt 15 Kriterien beim *Counter Movement Jump* und 16 Kriterien beim Angriffsschlag zur Qualitätsanalyse festgelegt, sodass dementsprechend maximal 31 Punkte von einem Probanden in beiden Sprüngen zusammen erreicht werden konnten.

6.3.5 Bauchmuskeltest - Abdominometrie

6.3.5.1 Verfahren

Zur mittelbaren Erfassung der Funktionsfähigkeit der Bauchmuskulatur wurde das Testverfahren der Abdominometrie verwendet. Dieser sportmotorische Test ist ein Verfahren zur Erfassung der Entlordosierungsfähigkeit der Lendenwirbelsäule durch will-

kürlich koordinierte Anpassung der Bauchmuskulatur (vgl. BERSCHIN & SOMMER 2007A/2007B, BERSCHIN 2011). Es soll die Fähigkeit der Bauchmuskulatur, eine Entlordosierung der Lendenwirbelsäule und aktive Fixierung des Beckens gegenüber angreifenden ventral kippenden Kräften, die durch das Absenken der Beine erzeugt wird, gemessen werden. Anders als bei KENDALL & KENDALL (1985) sind die Beine in der Ausgangsstellung so angehoben, dass Hüft- und Kniegelenke jeweils 90° gebeugt und das Sprunggelenk in der Neutralstellung gehalten wird. Aus dieser Grundposition werden Hüft- und Kniegelenk bilateral synchron gestreckt und dadurch das Drehmoment an der Hüfte sukzessive erhöht. Diese Bewegung hat gegenüber dem Absenken der gestreckten Beine bei KENDALL & KENDALL (1985) den Vorteil eines annähernd isometrischen Verlaufs der zweigelenkigen ischiocruralen Muskulatur und des *M. rectus femoris*, sodass Verkürzungen dieser Muskulatur das Testergebnis nicht beeinflussen können (vgl. BERSCHIN & SOMMER 2007A, 2007B). In Analogie zu KENDALL UND KENDALL (1985) wird auch hier die Fähigkeit zur Entlordosierung über die Erfassung des Drucks dorsal der Lendenwirbelsäule getestet und zusätzlich der Winkel beim Ausweichen bestimmt. Es erfolgt somit eine metrische Erfassung, da der Hüftwinkel beim Ausweichen als Messwert zur Beurteilung herangezogen wird.

6.3.5.2 Aufbau des Test

Die Untersuchung der Bauchmuskelkraft nach BERSCHIN/SOMMER (Abdominometrie) wurde im Kraftraum der Sporthalle der Philipps-Universität Marburg durchgeführt. Für den Bauchmuskeltest war ein Seilzugturm mit möglichst feiner Gewichtsplattendifferenzierung (2,5 kg Schritte) nötig. Der Teststreifen aus Aluminiumblech (t x b x h: 400 x 100 x 1mm) mit einer Öse an der Seite (Abb. 33), war mit einem Karabinerhaken durch ein Seil über zwei Umlenkrollen (Seilzug) mit der Gewichtauflagefläche verbunden. Zur Bestimmung der Abdominometriewerte wurde ein Goniometer (Winkelmesser) benötigt. Als Unterlage diente eine harte Gymnastikmatte.



Abbildung 33: Messplatte der Abdominometriemethode nach Berschin/Sommer 2007.

6.3.5.3 Durchführung der Abdominometrie

Bevor der Test beginnen kann, muss zuerst das Gewicht der Probanden ermittelt werden, welches bei diesem Test mit der Bauchmuskelfkraft gehalten werden soll. Um eine Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu erhalten, wird das Messgewicht, welches an den Seilzug gesteckt wird, immer auf zehn Prozent des gerundeten Körpergewichts festgelegt. Es ist allerdings noch zu beachten, dass bei Seilzügen mit Flaschenzug unter Berücksichtigung der Über- bzw. Untersetzung entsprechend mehr oder weniger Gewicht verwendet werden muss.

Zur Durchführung legt sich jeweils ein Proband mit dem Rücken auf eine harte Gymnastikmatte (Ausgangsposition). Die Probanden werden aufgefordert die Arme hinter dem abgelegten Kopf in 45° Winkeln zu verschränken, sodass die Ellenbogen diagonal nach außen zeigen. Der Blick richtet sich zu den Knien. Die Halswirbelsäule wird lang gestreckt, sodass das Kinn automatisch zur Brust gerichtet wird (Doppelkinn). Der Kopf bleibt so in sämtlichen Testphasen abgelegt. Ohne Bauchmuskelspannung und bei gestreckt aufliegenden Beinen ist das Becken ventral vorkippt und die Lendenwirbelsäule entsprechend lordosiert.

Anschließend wird die zur Messung der Bauchmuskelfkraft erforderliche Messplatte in Position gebracht. Die am Seilzug befestigte Messplatte wird zwischen Unterlage und Rücken so positioniert, dass sich der untere Lendenwirbelsäulenbereich (Bereich des vierten und fünften Lendenwirbels - Höhe Bauchnabel) auf Höhe der Messplatte befindet. Der Aluminiumstreifen ist seitlich mit einem Seilzugapparat verbunden. Nun werden die geschlossenen Beine angehoben und im rechten Winkel zum Rumpf im Hüft- und Kniegelenk gebeugt, die Füße bleiben locker dorsal flexiert (Hüftgelenk 90°, Kniegelenk 90°, Sprunggelenk 0° normal null). So entfällt die lordosierende Wirkung des *M. iliopsoas* (Abb. 34).

Durch die Aktivierung der Bauch- und Gesäßmuskulatur wird die Wirbelsäule aktiv entlordosiert, was den Mechanismus erzeugt, dass dadurch die Messplatte gegen die Unterlage fixiert wird. Die Probanden sollen nun versuchen so lange wie möglich die Messplatte an der Unterlage zu pressen, währenddessen der Testleiter das Gewicht am Seilzug aktiviert.

Anschließend werden aus dieser Ausgangsposition die Beine langsam, unter Beibehaltung der Muskelspannung nach distal gestreckt, während dabei synchron das Hüft- und Kniegelenk extendiert wird. Dieser Prozess hält solange an, bis die Messplatte nicht

mehr gehalten werden kann und entsprechend herausrutscht oder die Füße und Beine den Boden berühren. Während des Absenkens und Streckens der Beine wurde kontinuierlich der Hüftwinkel mit Hilfe eines Goniometers gemessen (Abb. 34). Sobald die Messplatte sich komplett unter dem Rücken löst wird der entsprechende Hüftwinkel gemessen und auf einem Protokollbogen vermerkt. Insgesamt wird die Messung zweimal wiederholt. Die jeweils zwei erreichten Winkel und das aufgelegte Gewicht werden mit der Größe und dem Körpergewicht der Probanden verrechnet und gemittelt (vgl. BERSCHIN & SOMMER 2007A, 2007B).

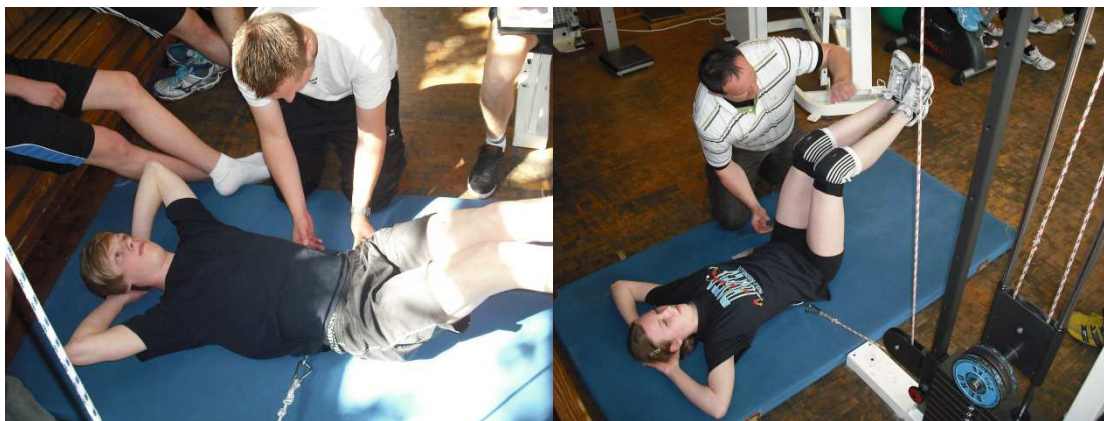


Abbildung 34: Durchführung der Messung mit den Kaderathleten.

6.3.5.4 Auswertung und Referenzwerte

Zur Auswertung wird der Auslösewinkel mit den Referenzwerten (Abb. 35) verglichen (vgl. BERSCHIN & SOMMER 2007A). Dabei entspricht die Bewertung dem relativen Grad des an der Hüfte wirkenden Drehmoments durch die Schwerkraft der Beine. Dieser Drehmomentverlauf wurde unter Zuhilfenahme der Teilkörperschwerpunkte und Körpersegmentmassen nach HANAVAN (1964) berechnet.

Auslösewinkel und Bewertung I

Auslösewinkel (Hüftgelenk)	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
Bewertung	20%	40%	60%	75%	90%	95%	100%

Zuordnung von Auslösewinkel und Bewertung in Analogie zu Kendall. Die Werte gelten für ein Zuggewicht von 10 Prozent des Körpergewichts

Abbildung 35: Auslösewinkel und Bewertung I nach Berschin/Sommer.

Eine Beurteilung mit Hilfe von Normwerten ermöglicht Abb. 35. Die angegebenen Werte wurden anhand eines Normkollektivs von 135 Sportstudierenden (Median Z =

24; Altersspanne 18 bis 32 Jahre) erstellt (vgl. BERSCHIN & SOMMER 2007A, 2007B). Somit können diese Werte für junge sporttreibende Erwachsene als Referenzwerte gelten. Eine Übertragbarkeit auf Kinder- und Jugendliche erscheint nach den praktischen Erfahrungen aus der Pilotstudie möglich.

Auslösewinkel und Bewertung II						
Auslösewinkel (Hüftgelenk)	weniger als 90°	90° – 66°	65° – 51°	50° – 41°	40° – 21°	20° – 0°
Bewertung	ungenügend (6)	mangelhaft (5)	ausreichend (4)	befriedigend (3)	gut (2)	sehr gut (1)

Zuordnung von Auslösewinkel und Bewertung im Schulnotensystem (auf Grundlage der Normierungsstichprobe der Sportstudierenden)

Abbildung 36: Auslösewinkel und Bewertung II nach Berschin/Sommer.

Die statistische Auswertung erfolgt wie schon beschrieben über die üblichen deskriptiven Verfahren sowie über die Signifikanzendarstellung der beiden Probandengruppen.

6.3.6 Qualitative Datenerhebung

6.3.6.1 Anamnesebogen

Der Anamnesebogen dient der Erhebung der anthropometrischen Daten der Probanden. Neben der Ermittlung der Körpergröße, des Gewichts und des Alters sowie dem BMI der Probanden wurde die körperliche Verfassung vor den jeweiligen Untersuchungen abgefragt. Auf diese Weise konnte ausgeschlossen werden, dass Personen, die am Test teilnehmen, weder an Verletzungen noch an Krankheiten leiden, welche die Tests negativ beeinflussen könnten. Des Weiteren stellten die Testbögen fest, ob und in welchem Maß sich die Probanden vor den Tests körperlich angestrengt, ob sie unter dem Einfluss von Medikamenten standen und ob sich diese eventuell leistungssteigernd oder -hemmend auswirken. Außerdem sollte der Fragebogen erfassen, ob schon einmal ein Kraft- und Haltungstraining in dieser Art und Weise absolviert wurde oder Vorkenntnisse darüber vorhanden sind. Abschließend wurden die Probanden gefragt, wie lange sie bereits aktiv Volleyball spielen.

Mithilfe dieser gewonnenen Daten sollen mögliche später auftretende, starke Abweichungen der Testergebnisse diskutiert werden. Erwähnenswert ist zudem, dass der Fragebogen zu Beginn jeder Untersuchung an die Probanden ausgehändigt wurde, da so Testverfälschungen im obigen Sinn ausgeschlossen werden konnten.

6.3.6.2 Trainingsprotokollbogen

Die Trainingsprotokollbögen wurden dazu verwendet, den tatsächlichen Trainingsaufwand, also die Belastungsparameter, wie Umfang und Dauer, genau festzustellen. Hierdurch sollte eine gewisse Kontrolle hergestellt werden, wer wieviel Trainingseinheiten tatsächlich absolviert hat. Zudem sollte durch den Trainingsprotokollbogen gewährleistet werden, dass die Probanden regelmäßig das gewünschte Kraft- und Haltungstraining durchführen. Außerdem war es möglich, die durch die oben genannten Untersuchungen eventuellen Abweichungen genauer zu analysieren und zu deuten.

Die Vereins- und Kadertrainer sowie die Probanden waren in einer Multiplikatorenschulung im Umgang mit diesen Protokollbögen geschult worden. Die fertig ausgefüllten Bögen konnten die Probanden über eine eigens für die Promotion eingerichtete Internetplattform monatsweise sammeln.

Das Protokoll erfasst in der Kopfzeile den Namen, das Geburtsdatum sowie den aktuellen Verein und die Trainer des Probanden (Abb. 37). Hier werden neben dem Jugendtrainer, auch der Erwachsenentrainer und der jeweilige Kadertrainer notiert. In der ersten und zweiten Spalte sind die Trainingstage und die Trainingsdauer zu vermerken. Spalte drei und vier sollen die Art des Trainings (Jugendtraining, Erwachsenentraining oder Kadertraining) sowie das Trainingsziel differenzieren. In den anschließenden Spalten soll markiert werden, was trainiert wird. Farblich sind hier voneinander verschiedenen Bereiche Kondition-, Technik-, Taktiktraining abgestuft. Im unteren Teil des Bogens sollen die Wettkampfspiele dargelegt werden, hierbei ist zu unterscheiden, um welchen Wettkampftyp es sich handelt.

Sowohl der Trainer, als auch die Probanden hatten die Aufgabe in das Trainingsprotokoll alle trainingsrelevanten Daten einzutragen. Eine zusätzliche Spalte kennzeichnet das spezielle Kraft- und Haltungstraining. Hier sollte vermerkt werden, ob und wie oft das Kraft- und Haltungstraining durchgeführt wird. Als Empfehlung sollte es zu Beginn eines jeden Trainings gesetzt werden.

[illegible]

Abbildung 37: Trainingsprotokoll

6.3.6.3 Evaluationsbogen

Der Evaluationsbogen dient als Abschlussbefragung, um die Akzeptanz und Sinnhaftigkeit der Übungen und des Konzepts bei den Probanden zu ermitteln. Hiermit sollte herausgefunden werden, ob sich die Annahme einer Relevanz für die Probanden aus der Pilotstudie bestätigt. Im Fokus standen die Erfassung von eventuell aufgetretenen Problemen und eine Standpunktabfrage zu den verschiedenen Kraft- und Haltungsübungen.

In 17 Items wurde nach Durchführbarkeit, Intensität, Häufigkeit und Verständlichkeit der zu bewältigenden Übungen differenziert. Ergänzend wurden die Probanden über die zeitlichen Anforderungen zum Absolvieren der Übungen im Selbststudium und über Zeitpunkt der Durchführung der Übungen im Training befragt. Des Weiteren sollten sie Stellung dazu nehmen, ob es ihrer Meinung nach Sinn macht, solche Kraft- und Hal- tungsübungen im Volleyball einzuführen und ob der Einfluss eines solchen Trainings Vorteile verspricht. Abschließend wurden die Probanden aufgefordert, eine Aussage über ihre eigene Empfindung und ihre subjektive Wahrnehmung zu machen, welche während der Übungen entstanden sind. Die eigenen Erkenntnisse sollten sich aus- schließlich auf die Leistungssteigerung beziehen. Hierzu wurden die Probanden darauf

hingewiesen, die Fragen sorgfältig zu lesen und die angegebenen Bewertungspunkte, mit einer Skala von 1-6, anzukreuzen. Es durfte jeweils nur ein Kreuz pro Frage gesetzt werden. Der Ankreuzschlüssel entspricht Schulnoten, von eins für sehr gut bis sechs ungenügend.

6.3.6.4 Auswertung der Daten

Die Auswertung der qualitativen Datenerhebung erfolgte durch Übertragung der Werte in Excel. Anschließend wurden diese grafisch in Diagrammen und Tabellen dargestellt. Die Relevanz des Anamnesebogens in Hinblick auf eine genaue Auswertung ist unbedeutend, sodass diese Daten vernachlässigt wurden. Ebenfalls dienten die Daten der Protokollbögen nur der Trainingsüberwachung im Bezug auf die Durchführung des Trainings und Selbststudium. Ausgewählte Daten der Evaluation befinden sich im Ergebnisteil. Der gesamte Datensatz im Anhang dieser Arbeit.

7 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse gegliedert nach dem jeweiligen Testverfahren dargestellt.

7.1 Abdominometrie – Rumpfkraftmessung

Die Ergebnisse der Abdominometrieuntersuchung (Abb. 38) zeigen zusammengefasst, dass sich die Versuchsgruppe, dabei sind alle Jahrgänge gemeint, in Bezug auf die gemessenen Mittelwerte der Hüftwinkel signifikant verbessert hat und damit eine Verbesserung der Kraftwerte der Rumpfmuskelkraft zu verzeichnen ist. Eine Steigerung des Hüftwinkels fand zudem nicht nur im Vergleich zu Kontrollgruppe statt, sondern auch innerhalb jeden Jahrgangs. Dies ist deutlich den Abbildungen 38 und 39 zuerkennen. Zudem kann festgehalten werden, dass die Ergebnisse der Jahrgänge 95/96 und 96/97 die größte Differenz der Steigerung der Mittelwerte der Hüftwinkel aufweisen. Die Messergebnisse der Kontrollgruppe zeigen keine signifikante Veränderung, obwohl auch eine leichte Steigerung der Mittelwerte der Hüftwinkel zu erkennen ist.

In der Altersstufe 93/94 kann eine Verbesserung verzeichnet werden. Der gemessene Wert lag im Posttest bei $175,29^\circ$ (SE: 1,94). Es konnte eine Steigerung um 14,23% ($21,83^\circ$) zudem im Prätest ermittelten Hüftwinkel von $153,46^\circ$ (SE: 5,39) verzeichnet werden. Dabei zeigt das Ergebnis eine hoch signifikante ($p < 0,001$) Steigerung der Hüftwinkelwerte bei einer mittleren Effektstärke ($\eta = 0,63$).

Die Ergebnisse im Jahrgang 94/95 haben sich ebenfalls verbessert. Hier kann eine Verbesserung des Hüftwinkels von im Prätest $141,67^\circ$ (SE: 5,63) auf $166,04^\circ$ (SE: 4,26) ermittelt werden. Das ist eine Steigerung um 17,2 % ($24,37^\circ$). Durch einen Test der gepaarten Stichproben ergeben sich beim Vergleich der Mittelwerte und der sich daraus resultierenden Ergebnisse, dass eine hohe Signifikanz ($p < 0,001$) zwischen dem Prä- und Posttest vorliegt. Die Effektstärke hat einen Wert von $\eta = 0,59$ und liegt somit beim einer mittleren Effektstärke.

Die Altersstufe 95/96 verzeichnet die größte Steigerung erlebt. Der Hüftwinkel hat sich um 38,31 % ($48,85^\circ$) von $127,5^\circ$ (SE: 6,41) auf $176,35^\circ$ (SE: 3,28) vergrößert. Der Test der gepaarten Stichproben ergibt eine zweiseitige Signifikanz der Mittelwerte der Hüft-

winkel. Es kann eine hohe Signifikanz ($p < 0,001$) zwischen dem Prä- und Posttest nachgewiesen werden. Des Weiteren liegt eine große Effektstärke mit $\eta = 0,84$ vor.

Abschließend kann auch die Altersstufe 96/97 eine deutliche Verbesserung der ermittelten Hüftwinkeln notieren. Die ermittelten Ergebnisse zeigen eine Steigerung um 28,17 % ($38,14^\circ$) von im Prätest $135,36^\circ$ (SE: 6,95) auf im Posttest $173,5^\circ$ (SE: 1,7). Die Ergebnisse der Hüftwinkelmessung verzeichnet eine hohe Signifikanz ($p < 0,001$) nach einem gepaarten t -Test der Gruppe 96/97 und weisen eine mittlere Effektstärke mit $\eta = 0,75$ auf.

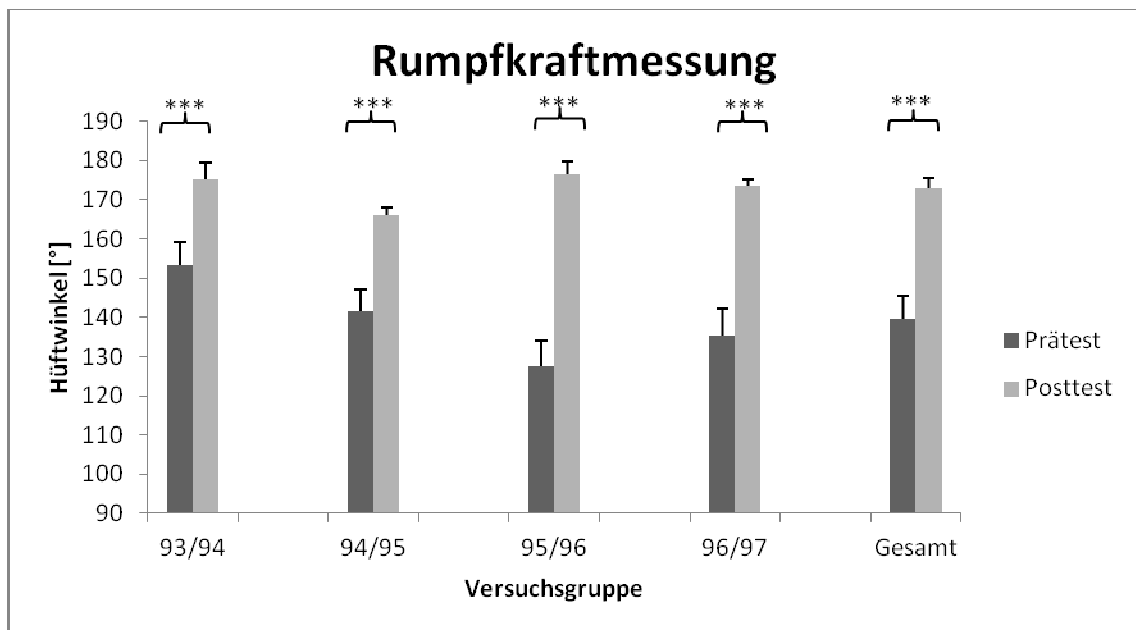


Abbildung 38: Prä- und Posttest der Rumpfkraftuntersuchung der Versuchsgruppen mit Standardfehler. In der Grafiken ist auf der X-Achse die Gruppenzugehörigkeit und auf der Y-Achse der Hüftwinkel in Grad dargestellt. Zudem werden die Einzelnen Ergebnisse farblich unterschieden in Prä- und Posttest.

Der Gesamtvergleich aller Altersstufen ergab in der Betrachtung der Mittelwerte aller Versuchsgruppenteilnehmer eine hoch signifikante ($p < 0,001$) Verbesserung der Hüftwinkelergebnisse. Zu erkennen ist eine deutliche Steigerung der Hüftwinkelwerte von im Prätest $139,50^\circ$ (SE: 6,10) um 23,87 % auf im Posttest $172,80^\circ$ (SE: 2,80). Diese Ergebnisse der Rumpfkraftuntersuchung verzeichnet eine hohe Signifikanz nach einem gepaarten t -Test der gesamten Versuchsgruppen und die Effektstärke $\eta = 0,72$ (mittlerer Effekt) im Prä- und Posttest.

Im Vergleich von Prä- und Posttest lassen sich für die Versuchsgruppe hohe signifikante Unterschiede ($p < 0,001$) in Bezug auf die Mittelwerte der Hüftwinkel erkennen (Abb. 39). Im Prätest liegen die ermittelten Werte des Hüftwinkels der Versuchsgruppe bei

139,5° (SE: 6,1°), die der Kontrollgruppe bei 127,95° (SE: 3,46°). Ein Unterschied von 11,55°. Deutlicher fällt der Unterschied der Mittelwerte der gemessenen Hüftwinkel im Posttest aus. Die Versuchsgruppe verzeichnet hier einen Anstieg um 23,87% auf 172,79° (SE: 2,8°). Die Kontrollgruppe verzeichnet auch eine Steigerung, allerdings im geringeren Maße. Der Mittelwert des Hüftwinkels steigt hier im Posttest auf 135,75° (SE: 3,67°). Das macht eine Differenz im Mittelwert von 37,04°. Im Vergleich der Prä- und Posttestergebnisse der Kontrollgruppe lassen sich keine signifikanten Unterschiede erkennen ($p = 0,139$). Außerdem kann nur eine kleine Effektstärke nachgewiesen werden, der Wert liegt hier bei $\eta = 0,26$. Zudem liegt der gemessene Unterschied innerhalb der Kontrollgruppe bei 6,12% (7,83°).

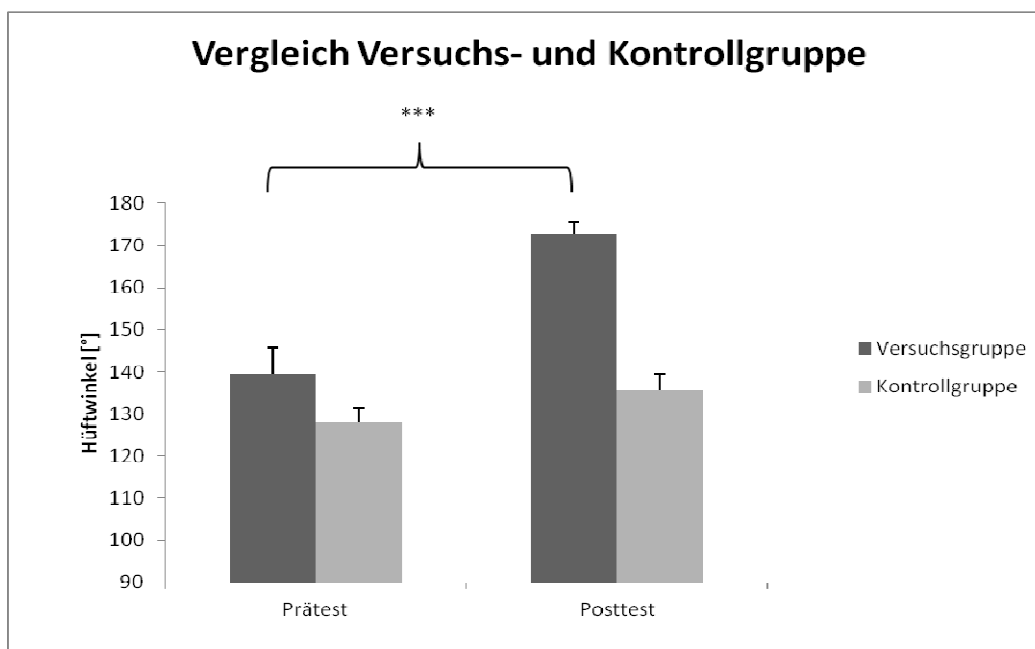


Abbildung 39: Vergleich der Rumpfkraft im Prä- und Posttest der Versuchs- und Kontrollgruppe. In der Grafiken ist auf der X-Achse die Gruppenzugehörigkeit und auf der Y-Achse der Hüftwinkel in Grad dargestellt. Zudem werden die Einzelnen Ergebnisse farblich unterschieden in Prä- und Posttest.

7.2 Dynamische Analyse des Counter Movement Jumps

Die Ergebnisse der dynamischen Untersuchung zeigen zusammengefasst, dass sich die Versuchsgruppe im Bereich der gemessenen Werte teilweise signifikant verbessert. In Bezug auf die Sprunghöhe (s. Kap. 7.2.1) findet in allen Jahrgängen eine Verbesserung im Vergleich zum Prätest statt. Der Vergleich mit der Kontrollgruppe zeigt deutlich einen signifikanten Unterschied in der Entwicklung der Sprunghöhen vom Prä- zum Posttest. Besonders sticht der Jahrgang 95/96 mit seinen Ergebnissen hervor.

Die Analyse der Steifigkeit des aktiven Bewegungssystems (*Stiffness*) ergab hingegen keine klaren Ergebnisse (s. Kap. 7.2.2). Lediglich im Jahrgang 96/97 ist eine signifikante Veränderung zu erkennen. Im Vergleich zur Kontrollgruppe, deren Werte eine Abnahme der Steifigkeit verzeichnen, findet nahezu keine nennenswerte Veränderung innerhalb der Versuchsgruppe statt.

Die beiden Untersuchungen zum Verlauf des Kraftangriffs zeigen im Bereich des *Average of Displacement* (s. Kap. 7.2.3.1), dass es Unterschiede in Bezug auf die Achse der Abweichungen gibt. Die Ergebnisse der Versuchsgruppe zeigen auf der Y-Achse eine Abnahme, diese ist allerdings nicht so gravierend wie die signifikanten Abnahmen auf der X-Achse. Mit einer enormen Reduzierung der Ausweichbewegung auf der X-Achse sowie einer deutlichen Abnahme auf der Y-Achse zeichnet sich der Jahrgang 95/96 aus. Vergleichend dazu ist auch eine Verringerung der Ausweichbewegungen sowohl auf der X- als auch auf der Y-Achse der Kontrollgruppe zu erkennen. Ein Unterschied der beiden Gruppen macht jedoch die nicht so große Abnahme im Bereich der X-Achsenabweichung der Kontrollgruppe aus.

Der Bereich der 95% Ellipse (s. Kap. 7.2.3.2) lässt erkennen, dass es innerhalb der Versuchsgruppe, mit Ausnahme des Jahrgangs 93/94, zu signifikanten Veränderungen gekommen ist. Die ermittelten Werte reduzieren sich, was sich auch hier am deutlichsten innerhalb des Jahrgangs 95/96 widerspiegelt. Der Vergleich mit der Kontrollgruppe zeigt, dass sich diese zwar auch, allerdings nur im geringen Umfang verringert haben.

7.2.1 Sprunghöhe

In der Gesamtbetrachtung aller Versuchsgruppen haben sich die ermittelten Sprunghöhen im Mittelwert von im Prätest 35,25 cm (SE: 3,46) um 7,8 % auf im Posttest 38 cm (SE: 1,59) gesteigert. Die Sprünge weisen dabei eine Signifikanz ($p = 0,008$) nach einem gepaarten t -Test und eine kleine Effektstärke von $\eta = 0,20$ der gesamten Versuchsgruppe im Prä-Posttest-Vergleich auf (Abb. 40).

Bei Betrachtung der Abbildung 40 kann man erkennen, dass alle Gruppen eine Steigerung der Sprunghöhe aufweisen. Dabei hat die Gruppe 95/96 die größte Steigerung erlebt. Hier hat sich die Sprunghöhe um 13,16 % (5 cm) von im Prätest 38 cm (SE: 2,02) auf im Posttest 43 cm (SE: 1,73) vergrößert. Das Ergebnis zeigt eine signifikante Steigerung ($p = 0,028$) der Sprunghöhe sowie eine kleine Effektstärke von $\eta = 0,36$ im Prä-Posttest-Vergleich.

Auch die Gruppe 94/95 hat sich um 10,34 % (3 cm) von im Prätest 29 cm (SE: 0,87) auf im Posttest 32 cm (SE: 1,44) verbessert. Der Vergleich der Differenzen der Mittelwerte weist neben der Verbesserung der Sprunghöhe der Gruppe 94/95 auch eine Signifikanz von $p = 0,017$ nach einem gepaarten t -Test auf. Zudem liegt eine kleine Effektstärke mit dem Wert $\eta = 0,31$ vor.

Eine etwas geringere Steigerung kann bei Gruppe 96/97 verzeichnet werden, hier steigt der Wert von 30 cm (SE: 0,87) um 6,67 % auf 32 cm (SE: 1,44) an. Der Test der gepaarten Stichproben ergibt beim Vergleich der Mittelwerte und der sich draus ergebenden Signifikanzen keine signifikante Steigerung der Sprunghöhe der Gruppe 96/97 ($p = 0,535$) an. Demzufolge liegt die Effektstärke bei $\eta = 0,03$.

Eine geringe Zunahme weist Gruppe 93/94 auf. Hier steigert sich der Wert um 2,28 % (1cm) von im Prätest 44 cm (SE: 1,15) auf im Posttest 45 cm (SE: 1,73). Der Test der gepaarten Stichproben ergibt beim Vergleich der Mittelwerte keine signifikante Steigerung ($p = 0,345$) der Sprunghöhe der Gruppe 93/94. Der errechnete Wert der Effektstärke liegt unter $\eta = 0,20$ und weist somit nur einen geringfügigen Effekt nach.

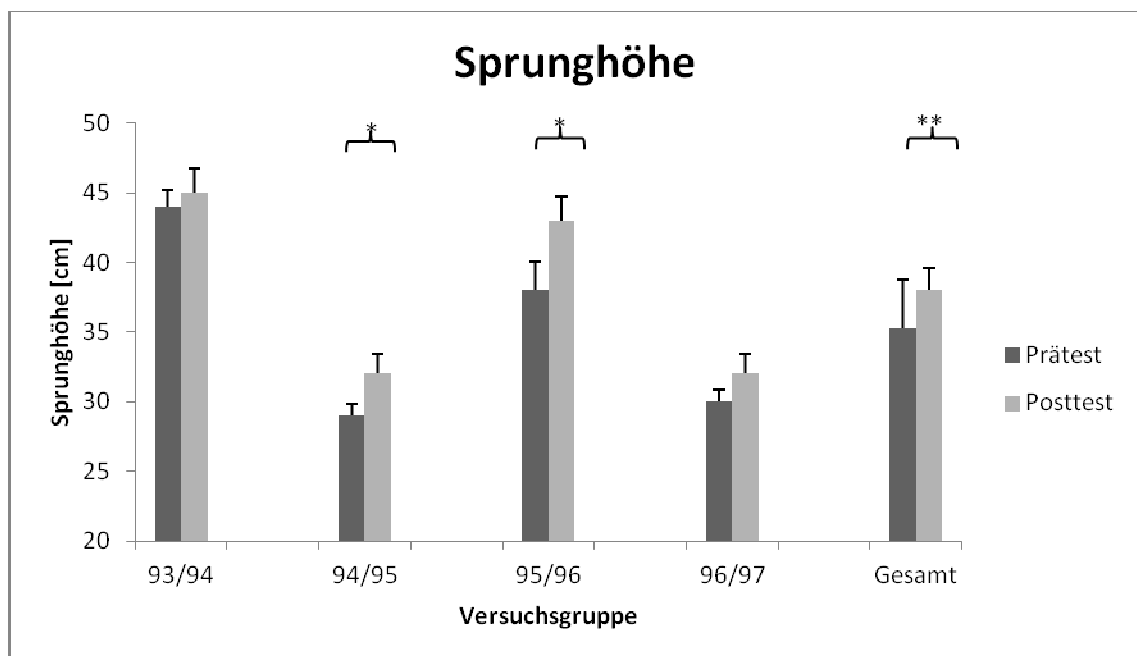


Abbildung 40: Prä- und Posttest der Sprunghöhenmessung der Versuchsgruppen. Auf der Y-Achse sind die erreichten Sprunghöhen in Zentimeter angegeben und auf der X-Achse die Gruppenzugehörigkeit. Zudem sind Prä- und Posttest farblich unterschieden.

Die Darstellung der Versuchs- und Kontrollgruppe lassen lediglich eine signifikante Veränderung ($p = 0,008$) im Prä-Post-Vergleich der Versuchsgruppe erkennen (Abb.

41). Die ermittelten Werte der Sprunghöhe lassen erkennen, dass die Sprunghöhe in der Gesamtbetrachtung im Mittelwert von im Prätest 35,25 cm (SE: 3,46) um 7,8% auf im Posttest 38 cm steigen. Die Sprünge weisen dabei eine Signifikanz nach einem gepaarten t -Test und eine kleine Effektstärke von $\eta = 0,20$ der gesamten Versuchsgruppe im Prä-Posttest-Vergleich auf.

Im Vergleich dazu sind die im Prätest gemessenen Sprunghöhen der Kontrollgruppe deutlich niedriger. Der Eingangswert liegt bei 28 cm (SE: 1,73). Dieser Wert nimmt im Posttest um 3,58% auf 27 cm (SE: 1,73) ab. Es ergibt sich daraus eine Differenz von 11 cm im Vergleich zur Versuchsgruppe.

Das Ergebnis zeigt somit eine Verschlechterung der Sprunghöhe der Kontrollgruppe auf. Durch die Ermittlung der gepaarten Stichproben ist zu erkennen, dass keine signifikante Verbesserung zwischen den Werten die beim Prätest und denen beim Posttest herrschen ($p = 0,152$). Darauf folgt auch die geringe Effektstärke von $\eta = 0,11$.

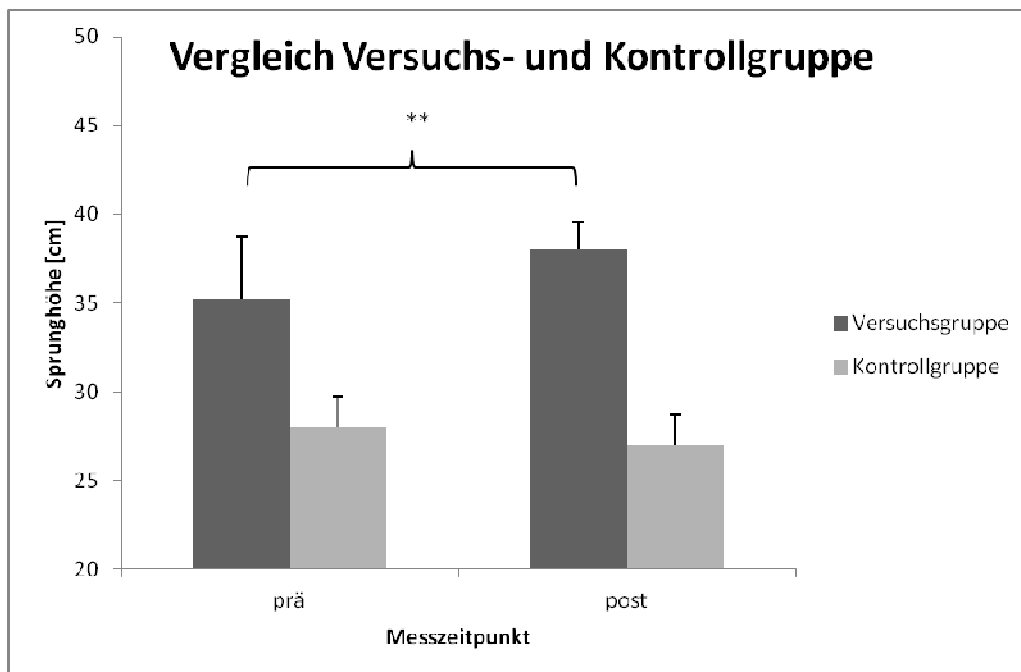


Abbildung 41: Vergleich der Sprunghöhe der Versuchs- und Kontrollgruppe im Prä- und Posttest. Auf der Y-Achse sind die erreichten Sprunghöhen in Zentimeter angegeben und auf der X-Achse die Gruppenzugehörigkeit. Zudem sind Prä- und Posttest farblich unterschieden.

7.2.2 Steifigkeit des aktiven Bewegungssystems (Stiffness)

Bei Betrachtung der Abbildung 42 lässt sich erkennen, dass die Entwicklung der einzelnen Gruppen unterschiedlich verlaufen ist. So weisen die Gruppen 93/94 und 96/97 einen Anstieg der Stiffnesswerte auf. Der Stiffnesswert in Gruppe 93/94 steigt dabei von

3616,75 N (SE: 207,60) auf 3644,57 N (SE: 280,87) an. Das Ergebnis zeigt keine signifikante Steigerung ($p = 0,519$) der *Stiffness* der Gruppe 93/94. Dementsprechend liegt der Effektstärkenwert nur bei $\eta = 0,07$. Bei Gruppe 96/97 erhöht sich der Wert von 1937,63 N (SE: 135,26) um 16,45 % (318,74 N) auf 2256,37 N (SE: 95,35). Das Ergebnis lässt eine Signifikanz der *Stiffness*werte der Gruppe 96/97 erkennen ($p = 0,020$). Die Effektstärke liegt mit $\eta = 0,28$ im kleinen Bereich.

Im Gegensatz dazu nimmt der Wert der *Stiffness* der Gruppen 94/95 und 95/96 ab. Hier fallen die Werte bei Gruppe 94/95 von 2799,32 N (SE: 216,17) auf 2785,85 N (SE: 227,42) ab. Der Vergleich der Mittelwerte ergibt, trotz Verringerung der *Stiffness* bei den Sprüngen, weder einen signifikanten Unterschied der Werte ($p = 0,922$) noch eine Effektstärke ($\eta = 0$). Die *Stiffness*werte der Gruppe 95/96 sinken von im Prätest 3097,34 N (SE: 210,52) um 10,06 % (311,49 N) auf im Posttest 2785,85 N (SE: 227,42) ab. Auch hier ergibt sich keine signifikante Steigerung ($p = 0,391$) der *Stiffness*werte beim Vergleich der Mittelwerte. Auch die Effektstärke liegt mit $\eta = 0,22$ im schwachen Bereich.

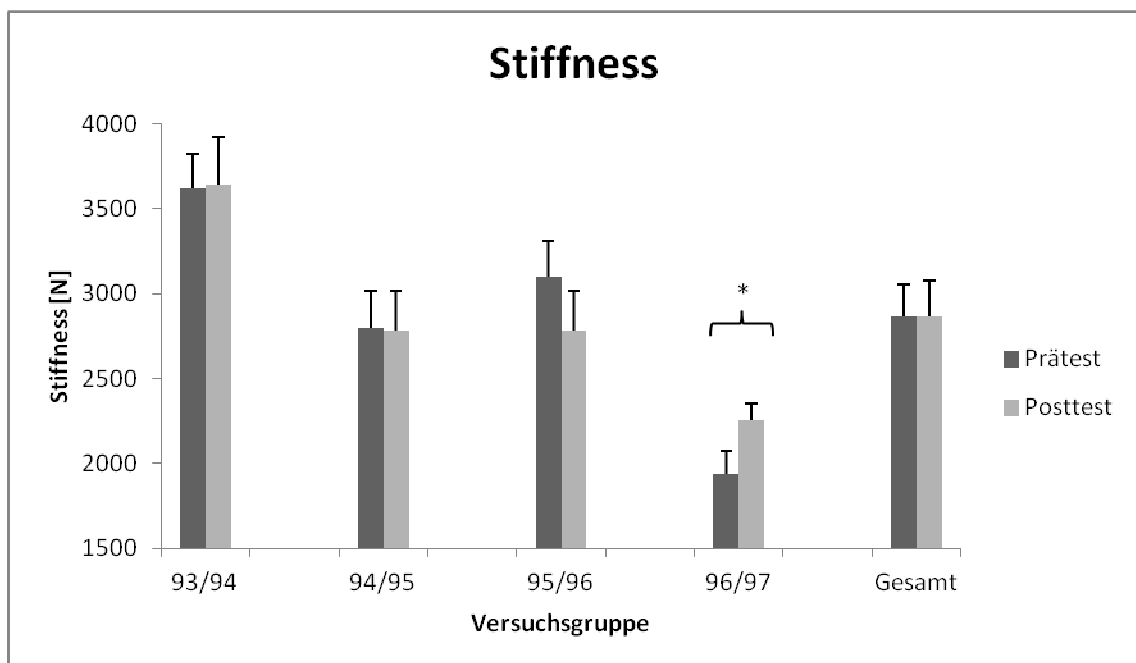


Abbildung 42: Prä- und Posttest der Stiffnessmessung der Versuchsgruppen. Zu erkennen ist auf der Y-Achse die Skalierung der Kraft, die beim Auftreffen auf die Kraftmessplatte bei der Landung entstanden ist. Sie werden in Newton (N) angegeben. Auf der X-Achse ist die Gruppenzugehörigkeit dargestellt und farblich unterschieden.

Im Vergleich aller Mittelwerte der *Stiffness* der Versuchsgruppen erhöht sich der Wert von im Prätest 2862,76 (SE: 192,4) auf im Posttest 2868,16 (SE: 207,77). Aus dem Vergleich der Mittelwerte ergibt sich keine Signifikanz ($p = 0,119$) der *Stiffness*werte.

Die Effektstärke weist einen Wert von $\eta = 0,15$ auf. Sie liegt somit in einem geringen Bereich.

Aus dem Vergleich der Versuchs- und Kontrollgruppe geht hervor, dass in beiden Gruppen keine signifikanten Veränderungen bezüglich der Stiffness eingetreten sind (Abb. 43). Im Vergleich der Mittelwerte der Stiffness der Versuchsgruppe erhöht sich zwar der ermittelte Wert von im Prätest 2862,76 (SE: 192,4) auf im Posttest 2868,16 (SE: 207,77). Diese Veränderung ist allerdings marginal. Die Effektstärke weist einen Wert von $\eta = 0,15$ auf. Sie liegt somit in einem geringen Bereich.

Die diesbezüglich ermittelten Stiffnessmittelwerte der Kontrollgruppe liegen insgesamt höher, im Prätest 3260,4 N (SE: 250,37) und im Posttest 3015,26 (SE: 150,89). Das macht eine Differenz von 397,7 N im Prätest und 147,06 N im Posttest. Gesamt gesehen ist allerdings innerhalb der Kontrollgruppe eine Abnahme um 7,52% (245,14 N) zu verzeichnen. Dementsprechend liegt der Wert der Effektstärke bei $\eta = 0,18$.

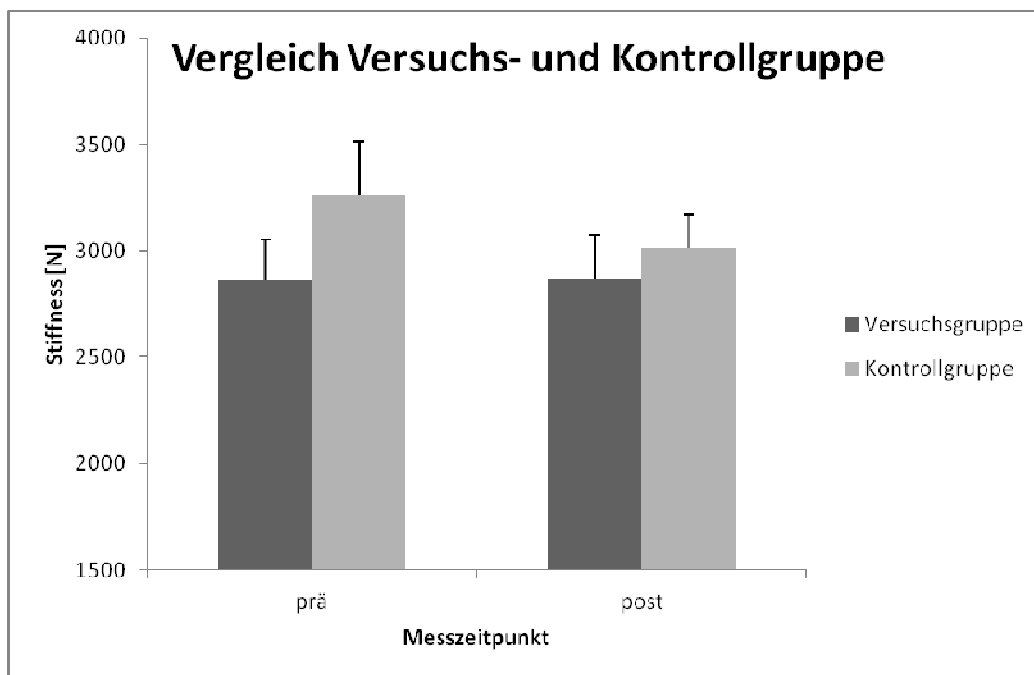


Abbildung 43: Vergleich der Stiffnessmessung der Versuchs- und Kontrollgruppe im Prä- und Posttest. Zu erkennen ist auf der Y-Achse die Skalierung der Kraft, die beim Auftreffen auf die Kraftmessplatte bei der Landung entstanden ist. Sie werden in Newton (N) angegeben. Auf der X-Achse ist die Gruppenzugehörigkeit dargestellt und farblich unterschieden.

7.2.3 Verlauf des Kraftangriffs

7.2.3.1 Average of Displacement

Bei Betrachtung der Abbildung 44 lässt sich Achsenabweichung der Y-Achse erkennen. Diese zeigt, dass die Entwicklung der einzelnen Gruppen in Bezug darauf unterschiedlich verlaufen ist. Die Versuchsgruppen 93/94 und 94/95 zeigen eine leichte Zunahme der *Average of Displacement*. Dabei verstärkt sich die Ausweichbewegung in der Gruppe 93/94 von im Prätest 5,59 cm (SE: 0,3) um 4,83 % (0,27 cm) auf im Posttest 5,86 cm (SE: 0,39). Die Analyse der Mittelwerte zeigt, dass bei der Y-Achsenabweichung keine Signifikanz ($p = 0,250$) existiert. Auch weist der Wert der Effektstärke nur einen geringen Wert mit $\eta = 0,10$. In der Gruppe 94/95 steigt der Wert von im Prätest 4,85 cm (SE: 0,41) um 6,8 % (0,33 cm) auf 5,18 cm (SE: 0,54) im Posttest. Es existiert keine Signifikanz ($p = 0,453$) der *Average of Displacement* der Y-Achsenabweichung der Gruppe 94/95 ermittelt werden. Dementsprechend liegt der Wert Effektstärke mit $\eta = 0,19$ im niedrigen Bereich.

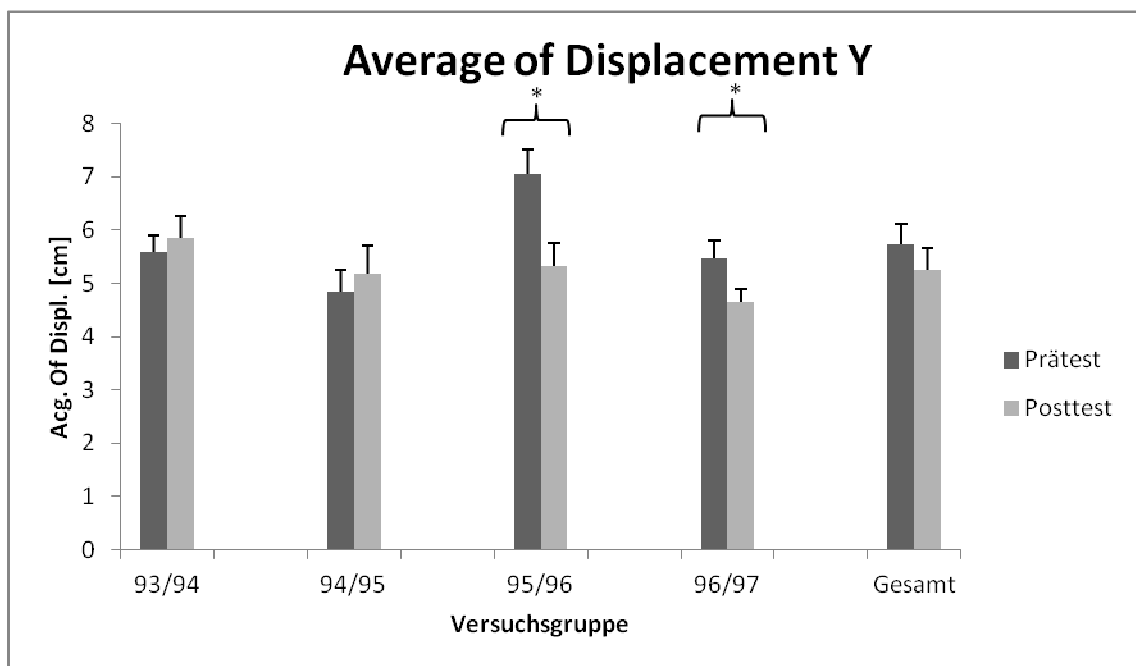


Abbildung 44: Prä- und Posttest der Average of Displacement Y der Versuchsgruppen. Auf der Y-Achse ist die Skalierung der Ausweichbewegungen die beim Auftreffen auf die Kraftmessplatte entstanden sind in Zentimeter angegeben. Die X-Achse definiert die Gruppenzugehörigkeit. Zudem sind die Messergebnisse des Prä- und Posttest jeweils farblich unterschieden.

Die beiden anderen Gruppen verzeichnen eine Abnahme. Hierbei sinkt der Wert der Ausweichbewegung in der Gruppe 95/96 am deutlichsten von im Prätest 7,05 cm (SE: 0,45) um 24,54 % (1,73cm) auf 5,32 cm (SE: 0,43) im Posttest. Zudem kann eine Signi-

fikanz ($p = 0,027$) mit einer Effektstärke von $\eta = 0,51$ beim Vergleich der Mittelwerte der Y-Achsenabweichung verzeichnet werden. Auch die Gruppe 96/97 weist eine Reduzierung der Ausweichbewegung auf. Der Wert der *Average of Displacement* verringert sich von 5,48 cm (SE: 0,32) im Prätest um 15,33 % (0,84 cm) auf 4,64 cm (SE: 0,25) im Posttest. Auch hier kann beim Vergleich der Mittelwerte ein signifikanter Unterschied ($p = 0,030$) mit einer Effektstärke von $\eta = 0,40$ ermittelt werden.

Aus der Gesamtbetrachtung der Mittelwerte lässt sich eine Reduzierung von im Prätest 5,74 cm (SE: 0,37) um 8,54 % (0,49 cm) auf 5,25 cm (SE: 0,4) im Posttest ablesen. Die Ergebnisse des Tests der gepaarten Stichproben der Versuchsgruppen lässt keine signifikante Veränderung auf die Ausweichbewegungen auf der Y-Achse erkennen ($p = 0,310$) Dementsprechend gering fällt die Effektstärke aus. Der Wert beträgt $\eta = 0,18$.

Aus der Abbildung 45 wird ersichtlich, dass sich die einzelnen Gruppen in Bezug auf den *Average of Displacement* der X-Achse unterschiedlich entwickelt haben. Zu erkennen ist, dass die Gruppen 93/94, 95/96 und 96/97 eine Abnahme verzeichnen. Lediglich Gruppe 94/95 weist einen Anstieg auf. Die Messwerte der Gruppe 93/94 sinkt von im Prätest 5,41 cm (SE: 0,32) um 32,53 % (1,76 cm) auf 3,65 cm (SE: 0,3) im Posttest ab. Der Vergleich der Mittelwerte im Prä-Posttest-Vergleich ergibt einen signifikanten Unterschied ($p < 0,001$) der Ausweichbewegung der X-Achse. Der Effektstärkenwert liegt im mittleren Bereich bei $\eta = 0,59$. Auch in Gruppe 96/97 nimmt der Wert von 3,95 cm (SE: 0,31) im Prätest um 23,03 % (0,91 cm) auf 3,04 cm (SE: 0,24) im Posttest ab. Beim Vergleich der Ergebnis der Ausweichbewegung der X-Achse im Prä- und Posttest ergibt sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied ($p = 0,025$) mit einer Effektstärke von $\eta = 0,40$. Die größte Reduzierung des *Average of Displacement* mit 48,25 % (3,87 cm) erlebt die Gruppe 95/96. Der im Prätest festgestellte Wert von 8,02 cm (SE: 0,46) sinkt auf 4,15 cm (SE: 0,38) im Posttest ab. Die Ergebnisse der Analyse der Ausweichbewegungen der X-Achse der Gruppe 95/96 ergeben eine signifikante Verbesserung ($p < 0,001$) mit einer Effektstärke von $\eta = 0,81$.

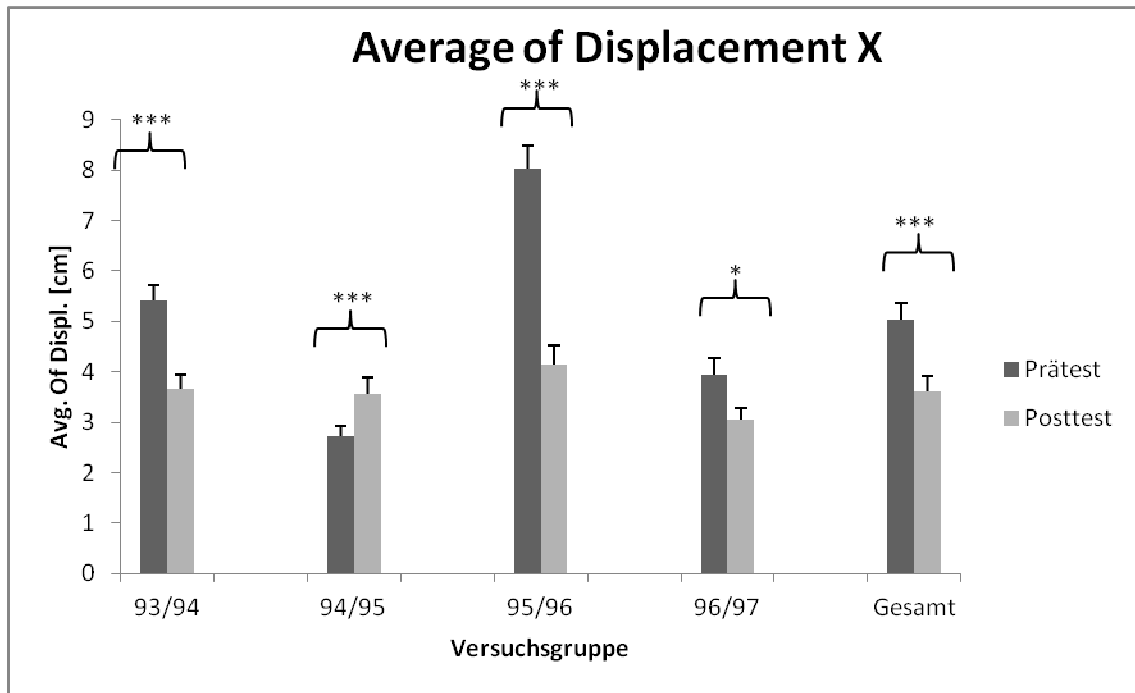


Abbildung 45: Prä- und Posttest der Average of Displacement X der Versuchsgruppen. Auf der Y-Achse ist die Skalierung der Ausweichbewegungen die beim Auftreffen auf die Kraftmessplatte entstanden sind in Zentimeter angegeben. Die X-Achse definiert die Gruppenzugehörigkeit. Zudem sind die Messergebnisse des Prä- und Posttest jeweils farblich unterschieden.

Einzig der Average of Displacement der Gruppe 94/95 verzeichnet eine Erhöhung um 30,77 % (0,84 cm) von 2,73 cm (SE: 0,2) auf 3,57 cm (SE: 0,31). Diese Vergrößerung des Mittelwerts der Ausweichbewegung der X-Achse ist Signifikant ($p < 0,001$). Der Wert der Effektstärke knapp unter dem mittleren Bereich ($\eta = 0,43$).

Die Gesamtbetrachtung des Mittelwerts der Average of Displacement lässt eine Abnahme der Ausweichbewegungen erkennen. Der Werte verringert sich von 5,03 cm (SE: 0,32) im Prätest um 28,60 % auf 3,6 cm (SE: 0,31) im Posttest. Anders als bei den Mittelwerten des Average of Displacement Y kann hier beim Vergleich der Mittelwerte eine hohe Signifikanz ($p < 0,001$) festgestellt werden. Der Wert der Effektstärke liegt im mittleren Bereich mit $\eta = 0,53$.

Der Vergleich der berechneten Mittelwerte der Average of Displacement nach dem Aufkommen auf die Kraftmessplatte lässt erkennen, dass sich alle Werte, sowohl der Versuchsgruppe, als auch der Kontrollgruppe reduziert haben (Abb. 46). In der Abbildung sind jeweils die Mittelwerte der Abweichungen auf der X- und Y-Achse dargestellt für die jeweilige Probandengruppe dargestellt.

Die Betrachtung der Mittelwerte der X-Achse lässt sich eine hochsignifikante Abnahme ($p < 0,001$) der Ergebnisse der Versuchsgruppe erkennen. Der Werte verringert sich von

5,03 cm (SE: 0,32) im Prätest um 28,60 % auf 3,6 cm (SE: 0,31) im Posttest. Der Wert der Effektstärke liegt im mittleren Bereich mit $\eta = 0,53$.

Innerhalb der Kontrollgruppe lässt sich erkennen, dass der Wert der X-Achsenabweichung von im Prätest 4,67 cm (SE: 0,37) auf 4,09 cm (SE: 0,34) im Posttest abnimmt. Das ist eine Verringerung um 12,42 %. Die Ausweichbewegung der X-Achse weist in diesem Zusammenhang keine Signifikanz ($p = 0,071$) mit einer kleinen Effektstärke von $\eta = 0,32$ auf.

Die Ergebnisse der Y-Achsenabweichung ergeben in der Gesamtbetrachtung der Versuchsgruppe eine Reduzierung von im Prätest 5,74 cm (SE: 0,37) um 8,54 % (5,49 cm) auf 5,25 cm (SE: 0,4) im Posttest. Die Ergebnisse des Tests der gepaarten Stichproben der Versuchsgruppen lässt keine signifikante Veränderung auf die Ausweichbewegungen auf der Y-Achse erkennen ($p = 0,310$) Dementsprechend gering fällt die Effektstärke aus ($\eta = 0,18$).

Eine ähnliche Entwicklung kann auch bei der Kontrollgruppe verzeichnet werden. Auch hier sinkt der Wert der Y-Achsenabweichung auf 3,08 cm (SE: 0,41) im Posttest von im Prätest 3,56 cm (SE: 0,42) ab. Das ist eine Reduzierung um 13,48 %.

Allerdings ist hier der Mittelwert der Ausweichbewegungen signifikant ($p = 0,020$) und weist eine Effektstärke von $\eta = 0,28$ auf.

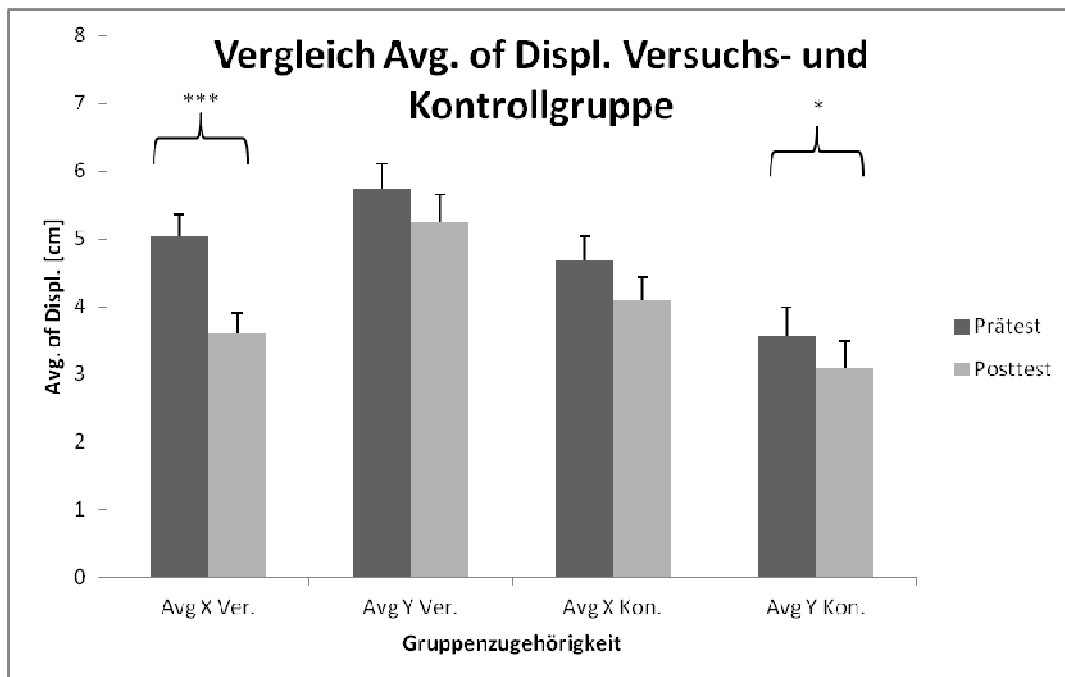


Abbildung 46: Vergleich Avg. of Displ. im Prä- und Posttest der Versuchs- und Kontrollgruppe. Auf der Y-Achse ist die Skalierung der Ausweichbewegungen die beim Auftreffen auf die Kraftmessplatte

entstanden sind in Zentimeter angegeben. Die X-Achse definiert die Gruppenzugehörigkeit. Zudem sind die Messergebnisse des Prä- und Posttest jeweils farblich unterschieden.

7.2.3.2 95% Ellipse

Es lässt sich der Abbildung 47 entnehmen, dass sich die Ausdehnungen der 95% Ellipse in allen Versuchsgruppen bis auf die Gruppe 94/95 reduzieren. Dort findet eine Steigerung der Wert der Ellipse um 45,6 % ($44,1 \text{ cm}^2$) von $52,61 \text{ cm}^2$ (SE: 4,68) im Prätest auf $96,71 \text{ cm}^2$ (SE: 14,01) im Posttest statt. Durch den Vergleich der Mittelwerte mittels t -Test zeigt eine Signifikanz ($p \geq 0,004$) mit einer mittleren Effektstärke von $\eta = 0,54$.

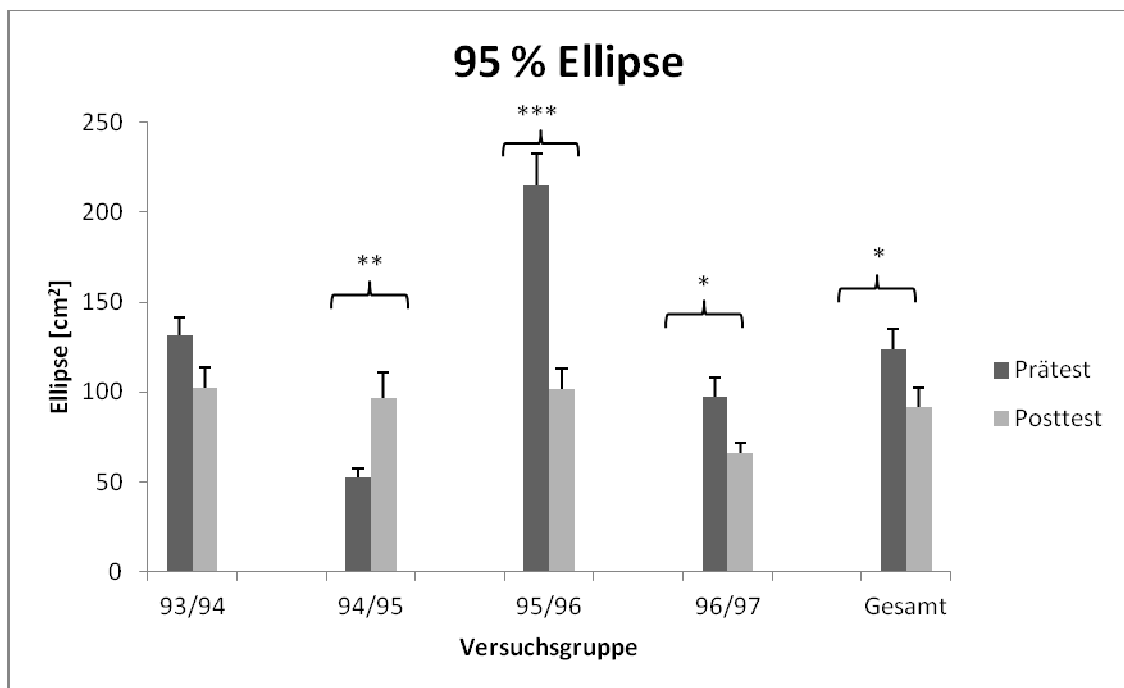


Abbildung 47: Prä- und Posttest der 95% Ellipse der Versuchsgruppen. Auf der Y-Achse ist die Skalierung der Ausweichbewegungen die bei der Landung auf der Kraftmessplatte entstehen in Zentimeter zum Quadrat angegeben. Die X-Achse stellt die jeweilige Gruppenzugehörigkeit dar. Farblich unterschieden sind jeweils die Ergebnisse des Prä- und Posttests.

Die Werte der 95% Ellipse der anderen Gruppen verhalten sich gegensätzlich, hier reduzieren sich die Werte vom Prätest zum Posttest. Dabei ist festzustellen, dass die größte Abnahme in der Gruppe 95/96 stattfindet. Hier verringert sich der Wert um 52,84 % ($113,47 \text{ cm}^2$) von $214,76 \text{ cm}^2$ (SE: 17,93) im Prätest auf $101,29 \text{ cm}^2$ (SE: 12,07) im Posttest. Das Ergebnis zeigt einen hochsignifikanten Unterschied ($p < 0,001$) des Wertes der 95% Ellipse der Gruppe 95/96. Die Effektstärke dieser Messung liegt knapp unter dem Bereich einer großen Effektstärke mit $\eta = 0,75$.

Auch die Gruppen 93/94 und 96/97 verringern ihre 95% Ellipse. Die Werte der Gruppe 93/93 sinken von $131,7 \text{ cm}^2$ (SE: 9,9) im Prätest um 22,28 % ($29,34 \text{ cm}^2$) auf $102,36$

cm² (SE: 11,67) im Posttest. Das Ergebnis eines *t*-Tests zum Vergleich der Mittelwerte zeigt keine signifikante Unterschiede ($p = 0,790$) und eine Effektstärke von $\eta^2 = 0,30$ der 95 % Ellipse der Gruppe 93/94. Die Gruppe 96/97 weist eine Verringerung um 32,03 % (31,11 cm²) auf. Der Ausgangswert von 97,12 cm² (SE: 10,77) im Prätest reduziert sich um 32,03 % (31,11 cm²) zum Posttest auf 66,01 cm² (SE: 5,96). Es ergibt sich beim Vergleich der Mittelwerte ein signifikanter Unterschied ($p = 0,022$) der 95% Ellipse der Gruppe 96/97 mit einer Effektstärke von $\eta^2 = 0,44$.

Die Betrachtung der Gesamtanalyse der Mittelwerte der Versuchsgruppen zeigt eine Reduzierung der 95 % Ellipse von 26,07 % (32,46 cm²). Dabei verringern sich die Mittelwerte von im Prätest 124,05cm² (SE: 10,82) auf 91,59cm² (SE: 10,92) im Posttest. Ein *t*-Test der gepaarten Stichproben im Vergleich der Mittelwerte der 95 % Ellipse zeigt noch signifikante Unterschiede ($p = 0,048$) mit einer Effektstärke von $\eta^2 = 0,37$.

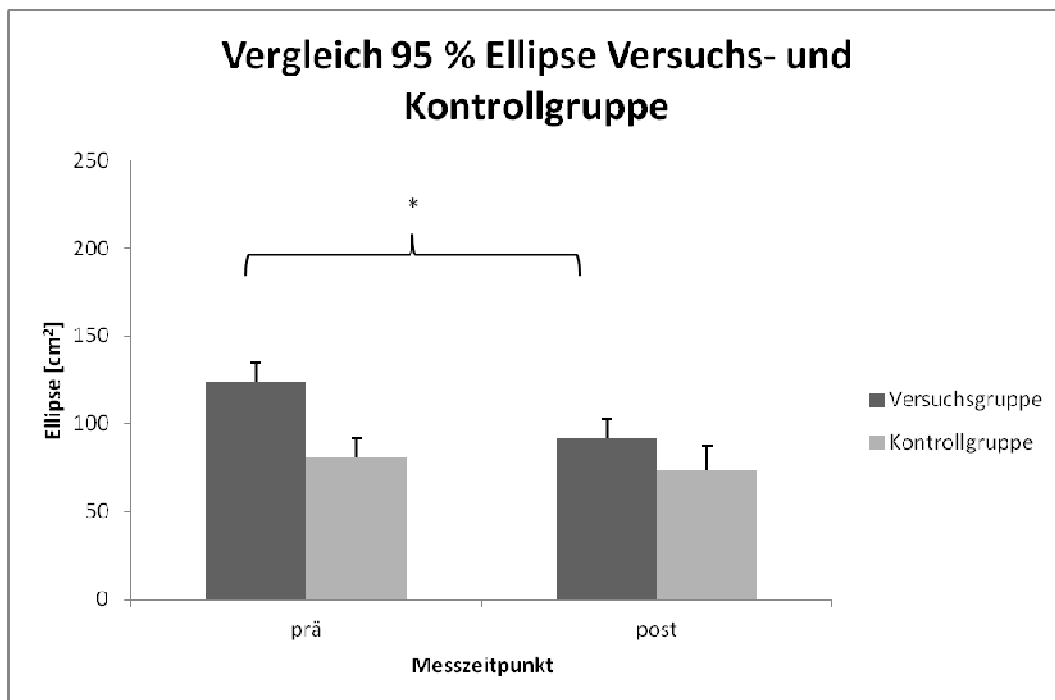


Abbildung 48: Vergleich der 95 % Ellipse im Prä- und Posttest der Versuchs- und Kontrollgruppe. Auf der Y-Achse ist die Skalierung der Ausweichbewegungen die bei der Landung auf der Kraftmessplatte entstehen in Zentimeter zum Quadrat angegeben. Die X-Achse stellt die jeweilige Gruppenzugehörigkeit dar. Farblich unterschieden sind jeweils die Ergebnisse des Prä- und Posttests.

Der Vergleich der Versuchs- und der Kontrollgruppe zeigt bei der Versuchsgruppe eine signifikante ($p = 0,048$) Reduzierung der Gesamtanalyse der Mittelwerte der 95 % Ellipse (Abb. 48). Das ermittelte Ergebnis reduziert sich in dieser Gruppe um 26,07 % (32,46 cm²). Dabei verringern sich die Mittelwerte von im Prätest 124,05cm² (SE: 10,82) auf 91,59cm² (SE: 10,92) im Posttest. Diese Unterschiede können mit einer Ef-

fektstärke von $\eta = 0,37$ festgestellt werden. Anders zeigen sich die Mittelwerte der Kontrollgruppe. Es ist ersichtlich, dass eine leichte Abnahme der Werte vorliegt. Der Wert der 95% Ellipse reduziert sich im Posttest Vergleich zum Prätest von 80,96 cm² (SE: 11,03) auf 74,08 cm² (SE: 13,52). Das entspricht einer Abnahme von 8,5 % (6,88 cm²) innerhalb des Messzeitraums. Es liegt innerhalb der Kontrollgruppe kein signifikanter Unterschied zwischen den Werten des Prä- und Posttests vor. Auch die Effektstärke ist mit $\eta = 0,08$ gering.

7.3 Videoanalyse Counter Movement Jump

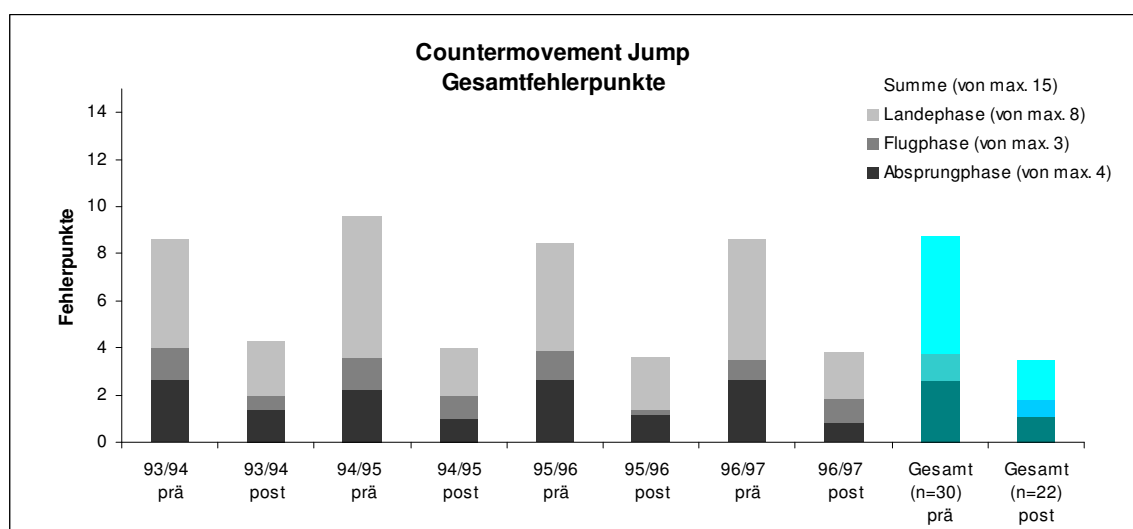


Abbildung 49: Gesamtfehlerpunkte beim Counter Movement Jump der Versuchsgruppen. Die Grafik stellt die Anzahl der Fehlerpunkte die in den verschiedenen Abschnitten eines Sprungs im Vergleich zu einem optimalen Sprung auftreten auf der Y-Achse dar. Die X-Achse zeigt die Gruppenzugehörigkeit und die Unterscheidung in Prä- und Posttest. Die in der Abbildung sichtbaren Balken sind farblich in der Abfolge der verschiedenen Phasen des Sprungs unterschieden. Von oben nach unten: Landephase – Flugphase – Absprungphase.

Die Werte der Analyse des *Counter Movement Jumps* der Versuchsgruppen ergibt das in Abbildung 49 dargestellte Ergebnis. Es kann erkannt werden, dass die Werte sich im Vergleich zum Prätest deutlich reduzieren. Die Summe der Mittelwerte der Gesamtfehlerpunkte reduziert sich in der gesamten Versuchsgruppe von im Prätest 8,73 FP auf im Posttest 3,55 FP. Am deutlichsten nehmen dabei die Mittelwerte der Landephase und Absprungphase ab. Dabei verbessern sich die Werte des Landeverhaltens von 4,97 FP im Prätest auf im Posttest 1,77 FP. In der Absprungphase von 2,57 FP im Prätest auf im Posttest 1,09 FP. Die Werte der Flugphase weisen nur eine geringe Reduzierung der Fehlerpunkte auf. Sie verbessern sich vom im Prätest 1,20 FP auf 0,68 FP im Posttest. Im Einzelnen zeigt sich, dass sich in der Gruppe 93/94 die Fehlerpunkte von 8,63 FP

auf im Posttest 4,33 FP reduzieren, dabei nimmt am stärksten der Wert der Fehlerpunkte im Bereich der Landephase ab. Der Wert sinkt von 4,62 FP im Prätest ab auf 2,33 FP im Posttest. Auch die Werte der Absprung- und Flugphase verringern sich. So sinkt der Wert der Absprungphase von 2,63 FP im Prätest auf 1,33 FP im Posttest. Der Wert der Flugphase nimmt um 0,71 FP von 1,38 FP auf 0,67 FP im Posttest ab. Ähnlich verhalten sich die Werte der Gruppe 94/95. In der Summe reduzieren sich die Fehlerpunkte von 9,60 FP auf im Posttest 4,00 FP. Auch hier findet die stärkste Veränderung bei der Landephase statt. Der Wert sinkt von 6,00 im Prätest auf 2,00 im Posttest ab. Das Absprungsverhalten verbessert sich von 2,20 FP im Prätest auf 1,00 FP im Posttest. Eine geringe Verbesserung weist der Wert der Flugphase auf. Hier verbessert sich der Wert von 1,40 FP im Prätest auf 1,00 FP im Posttest. Die Fehlerpunkte sinken auch in der Summe bei Gruppe 96/96. Wie bei den anderen beiden Gruppen zuvor auch verbessern sich die Fehlerpunkte von 8,44 FP im Prätest auf im Posttest 3,67 FP. Das Landverhalten in der Landephase weist auch hier die größte Reduzierung auf. Der Wert sinkt von 4,56 FP auf 2,33 FP im Posttest ab. Auch die Absprungphase weist eine Verbesserung auf, hier fällt der Wert von 2,67 FP im Prätest auf 1,17 FP im Posttest ab. Der Wert der Flugphase sinkt von 1,22 FP in Prätest auf 0,17 FP im Posttest ab. Die Summe des Sprungverhaltens der Gruppe 96/97 weist im Gesamten eine Verbesserung der Fehlerpunkte von 8,63 FP im Prätest auf 3,83 FP im Posttest auf. Auch in dieser Gruppe ist die Verbesserung am deutlichsten in der Landephase zu erkennen: Hier fällt der Wert von 5,12 FP im Prätest auf im Posttest 2,00 FP ab. Deutlich ist auch hier die Abnahme der Werte in der Absprungphase, sie reduzieren sich von 2,63 FP im Prätest auf im Posttest 0,83 FP. Nur der Wert der Flugphase weist keine Verbesserung auf, der Wert nimmt sogar um 0,12 FP von im Prätest 0,88 FP auf im Posttest 1,00 FP zu.

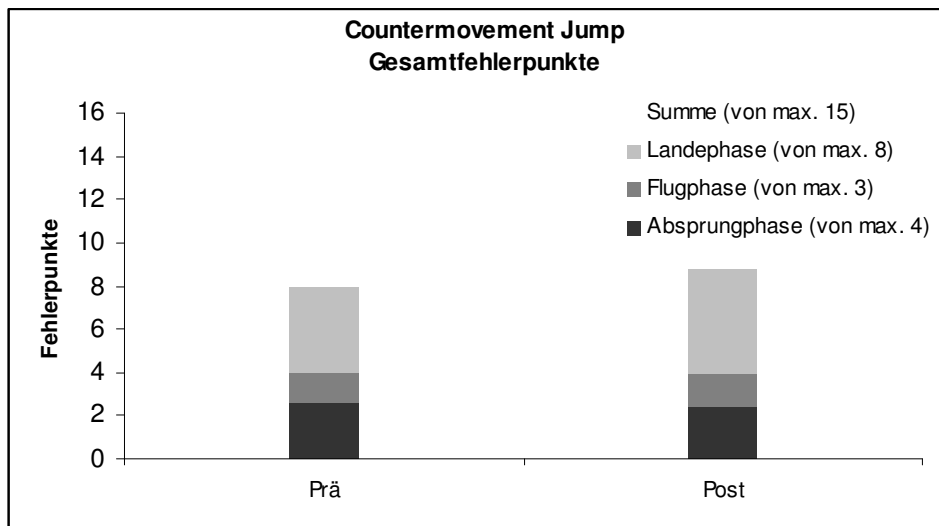


Abbildung 50: Gesamtfehlerpunkte beim Counter Movement Jump der Kontrollgruppe. Die Grafik stellt die Anzahl der Fehlerpunkte die in den verschiedenen Abschnitten eines Sprungs im Vergleich zu einem optimalen Sprung auftreten auf der Y-Achse dar. Die X-Achse zeigt die Unterscheidung in Prä- und Posttest. Die in der Abbildung sichtbaren Balken sind farblich in der Abfolge der verschiedenen Phasen des Sprungs unterschieden. Von oben nach unten: Landephase – Flugphase – Absprungphase.

In den Abbildungen 50 wird das Sprungverhalten der Kontrollgruppe in der Sprungvariante *Counter Movement Jump* dargestellt. Aus den Abbildungen wird ersichtlich, dass sich beim *Counter Movement Jump* eine leichte Verschlechterung einstellt.

Es ist zu erkennen, dass sich der Wert der Summe der Gesamtfehlerpunktzahl der Kontrollgruppe von 7,97 FP im Prätest auf 8,76 FP im Posttest vergrößert. Im Einzelnen verschlechtert sich dabei der Wert der Landephase am meisten. Hier steigert sich der Wert von 3,97 FP im Prätest auf 4,75 FP im Posttest. Außerdem erhöht sich noch der Wert der Flugphase von 1,42 FP im Prätest auf 1,58 FP im Posttest. Der Wert der Absprungphase verbessert sich hingegen auf 2,43 FP im Posttest von 2,58 FP im Prätest.

7.4 Videoanalyse des diagonalen Angriffsschlag

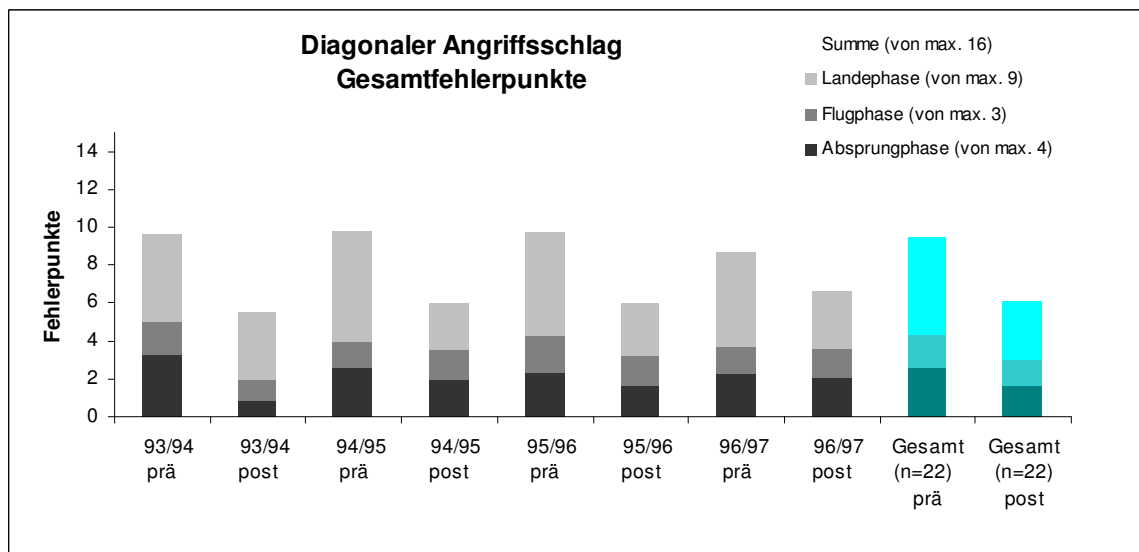


Abbildung 51: Gesamtfehlerpunkte beim diagonalen Angriffsschlag der Versuchsgruppen. Die Grafik stellt die Anzahl der Fehlerpunkte die in den verschiedenen Abschnitten eines Sprungs im Vergleich zu einem optimalen Sprung auftreten auf der Y-Achse dar. Die X-Achse zeigt die Gruppenzugehörigkeit und die Unterscheidung in Prä- und Posttest. Die in der Abbildung sichtbaren Balken sind farblich in der Abfolge der verschiedenen Phasen des Sprungs unterschieden. Von oben nach unten: Landephase – Flugphase – Absprungphase.

Die Abbildung 51 gibt die Gesamtfehlerpunkte der Versuchsgruppe beim diagonalen Angriffsschlag wieder. Es kann der Abbildung entnommen werden, dass alle Gesamtfehlerpunkte im Posttest sich im Vergleich zum Prätest deutlich verbessern. Die Gesamtmittelwerte verbessern sich von im Prätest 9,47 FP auf im Posttest 6,10 FP. Im Einzelnen wird deutlich, dass sich das Landeverhalten in der Landephase am stärksten von 5,17 FP im Prätest auf 2,61 FP im Posttest verbessert. Des Weiteren kann erkannt werden, dass sich die Mittelwerte der Absprungphase von 2,60 FP im Prätest auf 1,64 FP im Posttest reduzieren und dass sich das Verhalten der Flugphase im Mittelwert von 1,70 FP im Prätest auf 1,41 FP im Posttest verändert.

Die Abbildung veranschaulicht zudem noch die Fehlerpunkte der einzelnen Gruppen. Hier lässt sich erkennen, dass bei der Gruppe 93/94 eine Abnahme der Werte um 4,13 FP von 9,63 FP im Prätest hin zu 5,50 FP im Posttest stattfindet. Am stärksten hat sich dabei der Wert der Absprungphase verbessert, hier lag der Wert im Prätest bei 3,25 FP, dieser sinkt zum Posttest hin auf 0,83 FP ab. Ebenfalls verringert sich der Wert der Landephase von im Prätest 4,62 FP auf im Posttest 3,50 FP. Eine geringe Abnahme der Fehlerpunkte verzeichnet der Wert der Flugphase. Hier findet eine Verringerung von 1,75 FP im Prätest auf 1,17 FP im Posttest statt. Die Gruppe 94/95 weist in der Summe

eine ähnliche Tendenz auf. Dabei reduziert sich die Summe der Fehlerpunkte von 9,80 FP im Prätest auf 6,00 FP im Posttest. Im Einzelnen zeigt sich dabei während der Landephase die größte Abnahme. Der Wert sinkt von 5,80 FP im Prätest auf 2,50 FP im Posttest ab. Der Wert der Absprungphase verringert sich ebenfalls, allerdings geringer. Es kann eine Abnahme von 2,60 FP im Prätest auf 2,00 FP im Posttest erkannt werden. Eine Ausnahme bildet die Flugphase. Hier steigt der Wert leicht von 1,40 FP im Prätest auf 1,50 FP im Posttest. Die Werte der Summe der Gesamtfehlerpunkte der Gruppe 95/96 weisen eine deutliche Reduzierung im Posttest gegenüber dem Prätest auf. Der Wert sinkt von 9,78 FP auf 6,00 FP ab. Dabei weist im Einzelnen der Wert der Landephase die größte Veränderung auf. Hier fällt der Wert von 5,44 FP im Prätest auf 2,83 FP im Posttest ab. Auch die Werte der Flugphase und der Absprungphase weisen in dieser Gruppe eine Verringerung auf. In der Absprungphase sinkt der Wert im Vergleich zum Prätest 2,33 FP auf 1,67 FP im Posttest ab. In der Flugphase reduziert der Wert um 0,50 FP von 2,00 FP im Prätest auf 1,50 FP im Posttest. Wie in Abbildung 51 noch zu erkennen ist, weist die Gruppe 96/97 auch in der Betrachtung der Summe der Gesamtfehlerpunkte eine deutliche Dezimierung der Werte von 8,75 FP im Prätest auf 6,60 FP im Posttest auf. Ebenfalls kann erkannt werden, dass auch hier die größte Abnahme der Werte in Bereich der Landephase stattfindet. Die Werte reduzieren sich von 5,00 FP im Prätest auf 3,00 FP im Posttest. Auch nimmt der Wert der Absprungphase ab. Hier sinkt der Wert von 2,25 FP im Prätest auf 2,10 FP im Posttest ab. Lediglich der Wert der Flugphase zeigt keine Veränderung. Er bleibt wie im Prätest im Posttest bei 1,50 FP.

Der Abbildung 52 der Gesamtfehlerpunkte des diagonalen Angriffsschlages der Kontrollgruppe kann entnommen werden, dass sich die Summe der Gesamtfehlerpunkte leicht verbessert hat, dabei nimmt der Wert vom 9,42 FP Prätest zum Posttest hin auf 8,60 ab. Die einzelnen Werte der verschiedenen Phasen zeigen auch diesen Trend bis auf den Wert der Flugphase. Er steigt von 1,34 FP im Prätest auf 1,52 FP im Posttest an. Der Wert der Absprungphase dagegen sinkt von 3,76 FP im Prätest auf 2,98 FP im Posttest ab. Zudem verringert sich auch der Wert der Landephase von 4,32 FP im Prätest auf 4,10 FP im Posttest.

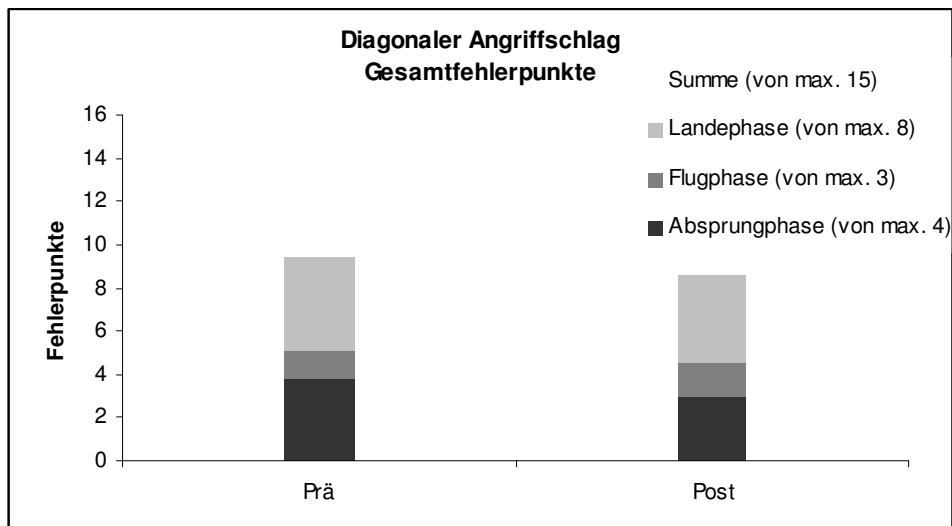


Abbildung 52: Gesamtfehlerpunkte beim diagonalen Angriffsschlag der Kontrollgruppe. Die Grafik stellt die Anzahl der Fehlerpunkte die in den verschiedenen Abschnitten eines Sprungs im Vergleich zu einem optimalen Sprung auftreten auf der Y-Achse dar. Die X-Achse zeigt die Unterscheidung in Prä- und Posttest. Die in der Abbildung sichtbaren Balken sind farblich in der Abfolge der verschiedenen Phasen des Sprungs unterschieden. Von oben nach unten: Landephase – Flugphase – Absprungphase.

7.5 Ergebnisse der Befragung

Ziel der Befragung war es, mit Hilfe von Protokoll-, Evaluation- und Fragebögen empirische Daten zum Trainingsumfang und -intensität, der Wettkampfbelastung und dem gesundheitlichen Zustand der Probanden zu erhalten sowie abschließend die Akzeptanz und Kritik an der Trainingsintervention zu erfassen.

7.5.1 Trainingsprotokoll

Das Trainingsprotokoll zeigt nach der Auswertung, dass die Probanden im Durchschnitt regelmäßig dreimal pro Woche Training haben. Die Wettkampfbelastung beläuft sich auf normale Ligaspiele, Jugendmeisterschaftsspiele und Auswahl-/Kaderspiele. Während einer Saison (von September bis Mai) summiert sich die Teilnahme an Wettkampfspielen auf ca. 80-120 Einsätze pro Proband. Diese hohe Anzahl hängt damit zusammen, dass die Probanden durch das in den letzten Jahren vermehrt genutzte Jugendspielrecht, welches es Jugendspielern erlaubt im gleichen Verein in allen Erwachsenenspiellklassen zu spielen, auf eine eineinhalbmal so viele normale Ligaspielen kommen wie Erwachsene. Zudem absolvieren die Probanden etliche Jugendspiele, zum Teil auch in mehreren Jahrgangstufen (U16, U 18, U 20 etc.), die meistens als kleines Turnier organisiert sind, somit absolvieren sie an einen Spieltag gleich mehrere Spiele. Neben diesen genannten Wettkämpfen bestreiten die Auswahl-/Kaderspieler noch weitere Spiele auf nationalen

(Bundespokal, Vorbereitungsturniere) und internationalen Turnieren sowie (in Hessen) in der Oberliga als Auswahlmannschaft. Das bedeutet, dass die Probanden während der Saison fast jedes Wochenende an einem Wettkampfspiel teilnehmen. Aufsummiert mit den Trainingseinheiten haben die Probanden pro Woche einen sehr hohen Belastungsumfang. Mit dem Trainingsprotokoll kann zudem festgehalten werden, dass die Probanden während der Studie kein gesondertes Sprungtraining absolviert haben.

Durch den erstellten Trainingsprotokollbogen kann gezeigt werden, dass sich die Trainingseinheiten der Jahrgänge unterscheiden, auch sind der Trainingsumfang und die Trainingsintensität der Probanden unterschiedlich. Zudem haben die Probanden eine unregelmäßige Anzahl von wöchentlichen Trainingseinheiten, dass hängt mit lokalen und infrastrukturellen Gegebenheiten der verschiedenen Vereine zusammen.

7.5.2 Gesundheitszustand

Der Fragebogen diente der gesundheitlichen Kontrolle der Probanden. Es sollte ausgeschlossen werden, dass Probanden an der Untersuchung teilnehmen, die eine Verletzung aufweisen oder eine sich durch die Untersuchung noch negativ verstärkende Krankheit zeigen. Es konnte durch den Fragebogen nachgewiesen werden, dass alle Probanden in der Lage waren, ordnungsgemäß an der Studie teilzunehmen. Durch den erhobenen Fragebogen kann zudem eine durch Medikamente beeinflusste Leistungssteigerung ausgeschlossen werden, keiner der Probanden nahm speziell leistungsfördernden Mittel ein. Zudem wurde festgestellt, dass kein Proband übermäßig hohen körperlichen Belastungen vor Beginn der jeweiligen Untersuchung ausgesetzt war.

7.5.3 Einschätzung des Nutzens bzw. der Wirksamkeit

Die Items des Evaluationsbogens sollten nach Bewertungspunkten in einer Skala von 1-6 versehen (1 steht für „sehr gut“, 2 für „gut“, 3 für „befriedigend“, 4 für „ausreichend“, 5 für „mangelhaft/schlecht“, 6 für „sehr schlecht“), jeweils mit nur einen Kreuz pro Item beantwortet werden. Dabei sollten die Items wahrheitsgemäß beantworten und nichts beschönigen werden. Insgesamt besteht der Evaluationsbogen aus 13 Items. Im Ergebnisteil werden allerdings nur fünf Items dargestellt. Die restlichen Items befinden sich grafisch ausgewertet im Anhang dieser Arbeit.

Item 3: Findest Du, dass die Übungen dein Leistungsvermögen gesteigert haben?

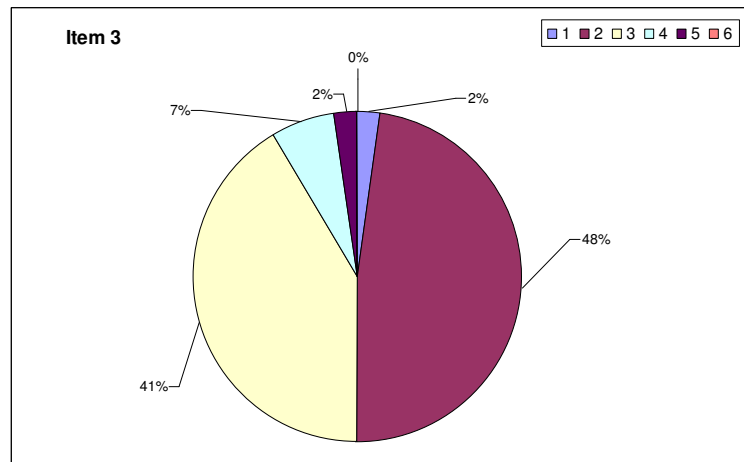


Abbildung 53: Grafische Darstellung der Antworten der Versuchsgruppe in Prozent zu Item 3.

Die abgegebenen Antworten (Abb. 53) zeigen, dass die Mehrheit der Versuchsgruppe subjektiv von einer Leistungssteigerung durch die Übungen ausgeht. 91 % beurteilen dies positiv, 50 % sind sogar enorm und stark davon überzeugt. Lediglich 9 % sind der Meinung, dass sich an ihrem Leistungsvermögen wenig bis kaum etwas geändert hat. Keiner der Teilnehmer ist der Meinung, dass sich überhaupt nichts geändert hat.

Item 7: Wie schätzt du den Nutzen solcher Übungen für ein Volleyballtraining ein?

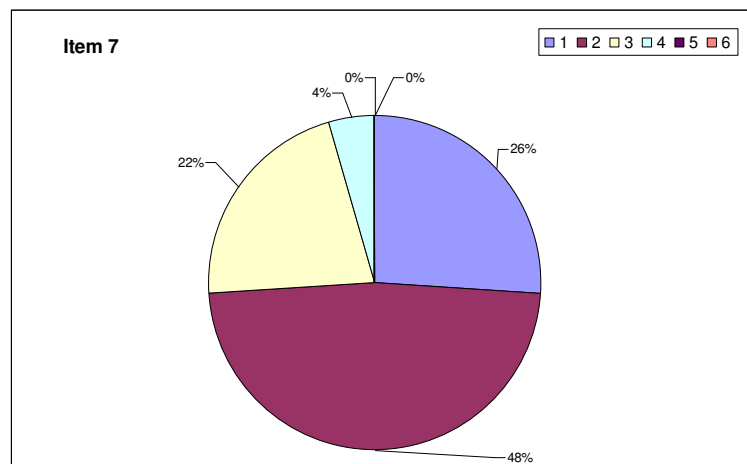


Abbildung 54: Grafische Darstellung der Antworten der Versuchsgruppe in Prozent zu Item 7.

Die Antworten zur Frage, wie der Nutzen dieser Übungen für ein Volleyballtraining ist, sind in Abbildung 54 festgehalten. Alle Teilnehmer sind davon überzeugt, dass die Übungen einen Nutzen haben. Mit 4 % ist der Anteil derjenigen recht gering, die von einem geringen Vorteil ausgehen. Demgegenüber sind 96 % der Teilnehmer überzeugt,

dass diese Übungen eine Verwendbarkeit für ein Volleyballtraining haben. Davon schätzen 26 % der Teilnehmer den Nutzen als sehr hoch und 48 % noch als hoch ein.

Item 9: Ist für dich der Zeitpunkt der Übungen sinnvoll gewählt worden? Sollte man die Übungen zu Beginn eines Trainings anführen?

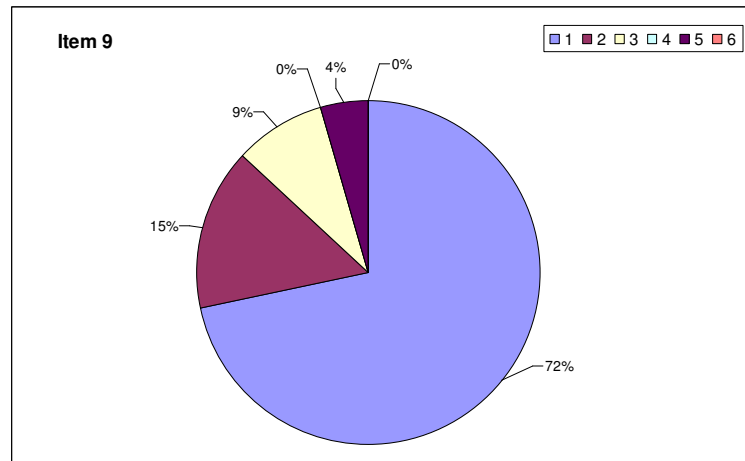


Abbildung 55: Grafische Darstellung der Antworten der Versuchsgruppe in Prozent zu Item 9.

In Abbildung 55 sind die Antworten zur Frage des Zeitpunktes der Übungen abgebildet. Dabei sind sich die Teilnehmer recht einig. 72 % der Teilnehmer sind der Meinung, dass Training zu Beginn eines Volleyballtrainings stattfinden soll. Ein Anteil von 24 % geht auch damit konform, könnte sich aber eine leichte Abwandlung vorstellen. Eine Minderheit von 4 % würde diese Übungen gegen Ende eines Volleyballtrainings favorisieren.

Item 10: Hast du die Übungen immer mit maximaler Intensität ausgeführt?

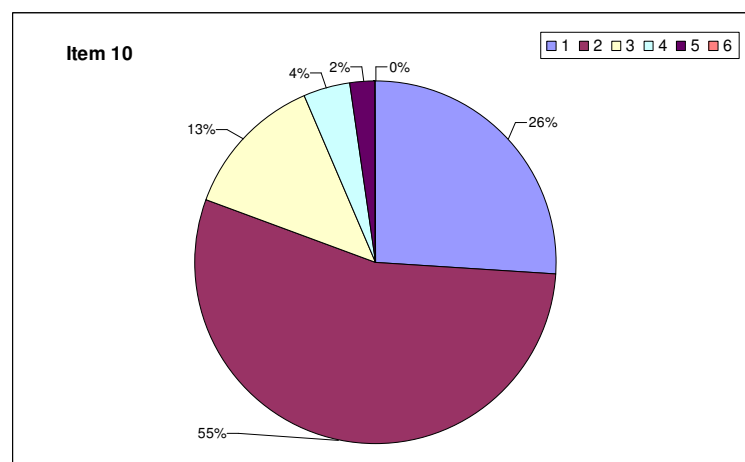


Abbildung 56: Grafische Darstellung der Antworten der Versuchsgruppe in Prozent zu Item 10.

Die mit Item 10 gestellte Frage zur Ausführung der Übungen wird grafisch in Abbildung 56 dargestellt. Zu erkennen ist, dass nicht alle Teilnehmer immer mit maximaler Intensität gearbeitet haben, nur 26 % geben an, immer mit maximaler Intensität gearbeitet zu haben. Der größte Anteil (55 %) der Teilnehmer hat die Übungen in einem hohen, aber nicht maximalen Intensitätsbereich absolviert. Der Anteil derer, die noch in einem belasteten Bereich trainiert haben, beläuft sich auf 13%. Unmerklich viele Teilnehmer haben in einen niedrigen Intensitätsbereich die Übungen durchgeführt, der Anteil beträgt zusammen noch 6 %.

8 Diskussion

8.1 Diskussion der Untersuchungsmethoden

Mittels der anschließenden Diskussion der ausgewählten Untersuchungsmethoden, sollen aufgekommene Probleme und Schwierigkeiten begründet offengelegt und diskutiert sowie für weiterführende Forschungen entsprechende Alternativen aufgezeigt werden.

8.1.1 Rumpfkrafttest

Aufgrund der Ergebnisse erscheint die Funktionsdiagnostik der Rumpfmuskulatur wichtig, um mögliche muskuläre Schwachstellen zu analysieren und mögliche Ursachen von Fehlhaltungen und damit einhergehenden Leistungseinbußen bestimmen zu können. Auch die Erkenntnisse von KIM ET AL. (2008) und SOMMER (2010) belegen, dass die Erhebung dieser Daten eine zentrale Dokumentation des Muskelfunktionszustandes darstellt. MILTNER ET AL. (2010) sehen sogar aus sportmedizinischen Aspekten eine detaillierte Analyse der muskulären Leistungsfähigkeit des Rumpfes als eine wesentliche Maßnahme der Verletzungsprophylaxe sowie der Leistungsdiagnostik für professionelle und nicht professionelle Volleyballspieler.

Die Grenzen des Tests zeigen sich bei der Durchführung mit Personen, die einen hohen Körperfettanteil, dabei insbesondere im lumbalen Bereich, aufweisen. Mögliche Abweichungen verfälschen ab einem Körperfettanteil von über 35% die Ergebnisse (vgl. SOMMER & BERSCHIN 2007). Zudem können noch extreme und fixierte Lordosen oder ein stark ausgeprägter Flachrücken Verfälschungen der Ergebnisse hervorrufen. Dem wurde allerdings im Vorfeld der Untersuchung durch die Erhebung der anthropometrischen Daten und einer orthopädischen Untersuchung Rechnung getragen.

Außerdem hängt die Objektivität des Tests, neben der Erfahrung des Testleiters bei der Erfassung des Hüftwinkels, vor allem von der verwendeten Unterlage und der Oberbekleidung der Probanden ab. Zur Vermeidung des kleidungsbedingten Abweichens der Ergebnisse trugen die Probanden ausschließlich enganliegende T-Shirts.

KELLER ET AL. (1999) konnten durch ihre Studien belegen, dass der Bauchmuskeltest, wie auch alle anderen Muskelkrafttestformen, das Problem aufweist, dass der Messwert bei einer gegebenen Koordinationsvoraussetzung entscheidend vom Willen zur Muskel-

anspannung bestimmt ist. Da in der vorliegenden Arbeit mit Auswahlspielern als Probandenklientel gearbeitet wurde, kann davon ausgegangen werden, dass ein guter Fitnesszustand vorherrscht und dass die Probanden es gewohnt sind, sich hohen körperlichen Anstrengungen auszusetzen. Gerade bei solchen Testformen sind der Fitnesszustand und die prinzipielle Einstellung zu körperlicher Anstrengung für die Messergebnisse von entscheidender Bedeutung.

Die Diskussion zur generellen Wertigkeit und Reproduzierbarkeit von Maximalkrafttest speziell der Rumpfmuskulatur durch die verwendete Messmethode ist, wie von BERSCHIN & SOMMER (2004), FISCHER (2004), KLEE (1995 B, 1995C), PIPER (2005) sowie RUSCH & WEINECK (2007) gefordert, in puncto Körperhaltung zu führen. Hat die gemessene Maximalkraft keinen relevanten Bezug zum Haltungskontext, so kann auch durch eine Trainingsintervention keine positive Veränderung oder Anpassung erzielt werden, da Fehlhaltungen immer mit einer insuffizient arbeitenden Muskulatur einhergehen.

8.1.2 Qualitative Bewegungsanalyse

Davon ausgehend, dass sich die Gegebenheiten der Bewegungsabläufe eines Spielanriffssprungs erheblich von den Bewegungsabläufen (s. Kap. 6.3.3/6.3.4) eines Laborsprungs unterscheiden, muss dies bei einer Diskussion thematisiert werden. Während im Labor keine oder nur wenige Störgrößen auftreten, sind in einer realen Situation eine große Anzahl von Störgrößen, wie z.B. der Position des gegnerischen Blocks, der Anzahl der Blockspieler oder unvorhersehbarer Bewegungen des Gegners, gegeben (vgl. KUHLMANN 2010).

Gleichwohl ist der Ehrgeiz der Probanden eine bestmögliche Leistung im Feldtest zu erbringen unter Umständen größer als im Labor, da die Probanden eine höhere Motivation haben. Deshalb kann nicht zwingend davon ausgegangen werden, dass eine im Labor ausgeführte Bewegung einer realen Bewegung im Spiel entspricht und auf diese Weise von den Probanden so ausgeführt wird. Hochmotivierte Sportler werden im Wettkampf immer versuchen ihr maximales Können abzurufen, um den Wettkampf zu gewinnen. Diese Bewegungen können daher als „Ist-Stand“ der Bewegungstechnik angesehen werden. In der Literatur sind nur wenige Untersuchungen zur Analyse der Wettkampfbewegung bekannt (vgl. z.B. COLEMAN ET AL. 1993).

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass das verwendete Kraft- und Haltungstraining eine Verbesserung der Bewegungsabläufe, nicht nur im Laborversuch, sondern auch im Feldtest nach sich ziehen. Dies belegen die deutlich reduzierten Ausweichbewegungen beim Absprung sowie der Landung innerhalb des diagonalen Angriffssprungs und des Counter Movement Jumps.

Bewegungen sind handlungstheoretisch betrachtet Aufgabenlösungen und weisen somit eine interindividuelle Variabilität auf. Dementsprechend konnte innerhalb der Untersuchung des diagonalen Angriffssprungs keine standardisierte Bewegungsabfolge des Anlaufs der Probanden festgelegt werden. Es wurde allerdings versucht durch die Vorgabe einer Absprung- und Landezone die Absprung- und Landefläche vorzugeben, um eine Reliabilität zu gewährleisten. Zudem wurde versucht über eine fünffache Wiederholung des Sprunges, über den Durchschnitt aller Sprünge, die tatsächliche Qualität des Sprunges pro Proband sicherzustellen um so die Varianz zu kontrollieren. Infolgedessen und dadurch, dass auch bei diesem Sprungtest nur eine Person die Sprünge analysiert und beurteilt hat, sind die Ergebnisse miteinander vergleichbar (Interrate Reliabilität). Als messmethodisch nachteilig erwies sich bei der Untersuchung des Sprungverhaltens das Vorhandensein nur einer festinstallierten Kamera. Um eine noch bessere Datenerfassung und eine höhere Vergleichbarkeit zu schaffen, sollten mindestens zwei Kameras und Kamerapositionen verwendet werden.

Bei beiden Sprüngen ist generell anzumerken, dass die Beurteilung der Sprünge, ob ein Merkmal gezeigt wird oder nicht, in nicht eindeutigen Extremsituationen subjektiv ist, denn bei z.B. Probanden mit leichten Fehlstellungen, wie etwa X-Beinen, ist für den einen Beobachter bereits eine Fehlstellung, während für einen anderen, die Beinposition noch als gerade anzusehen ist. Sie liegt somit ein Stück weit *im Auge des Betrachters*, was natürlich nicht immer als objektiv und somit als nicht empirisch eingestuft werden kann.

8.1.3 Begründung des Interventionskonzepts

Gegenstand dieser Studie ist es, ein praxisorientiertes Trainingskonzept (s. Kap. 3.3.3) zur Leistungssteigerung und Belastungssicherung am Beispiel des Hallenvolleyballs vorzustellen. Im Fokus steht dabei die Bewältigung steigender Trainingsbelastungen mit dem Ziel langfristiger Leistungssteigerungen. In diesem Zusammenhang steht hauptsächlich das Achsenskelett (Schultergürtel, Wirbelsäule und Beckengürtel) im Vordergrund einer differenzierten Diagnostik sowie eines spezifisches Trainingskonzept für die rumpfstabilisierenden Muskeln (vgl. FRÖHNER ET AL. 1999). In der Zeitschrift Leis-

tungssport wurden vom MEIER (2005, 2006, 2007B) in der jüngeren Vergangenheit Anregungen zu neuen Aspekten der Rumpf- und Gelenkstabilität vorgestellt, in denen der Grundgedanke ähnlich veranlagt war. Das von ihm vorgeschlagene Konzept beruht darauf, neben den global wirksamen, mehrere Gelenke umspannenden, auch die lokal stabilisierenden Muskeln anzusteuern.

Die empirisch nachgewiesene Feed-Forward-Aktivierung der tief liegenden Rumpfmuskulatur vor schnellen Extremitätenbewegungen von MEIER (2005), ist ein deutlicher physiologischer Hinweis darauf, dass Bewegungen der Extremitäten nur mit Hilfe eines Widerlagers aus der Körpermitte realisiert werden können. Hinsichtlich des daraus resultierenden Anwendungszusammenhangs wird klar, dass eine Stabilisierung der Halte- und Bewegungsorgane, nicht nur aus präventiver und trainingsbegleitender Sicht, sondern auch aus leistungsphysiologischer Betrachtung, mit einer ganzheitlichen Rumpfstabilisierung in einem allgemeinen Athletiktraining verankert sein muss (vgl. MEIER 2007, SCHRÖDER ET AL. 2008, SOMMER 2010). Mit dem in der Studie verwendeten Trainingskonzept wird eine Beherrschung des Defizits angestrebt sowie den mit dem Wachstum eingetretenen Muskelstörungen entgegengetreten.

Erfahrungen im Umgang mit Leistungssportlern im Kindes- und Jugendalter (z.B. FRÖHNER 2007, SOMMER 2010, SOMMER ET AL. 1987) haben gezeigt, dass analog zu der bekannten Abhängigkeit der Gliedmaßenkoordination von Rumpfhaltung und Rumpfstabilisation, ein Training kompletter Muskelfunktionsketten unter Einbeziehung des Rumpfes, wie von SOMMER & ROHRSCHEIDT (1987) beschrieben, besonders erfolgreich anzuwenden ist. Das entwickelte Trainingskonzept hat den Vorteil, dass gleichzeitig koordinativ und muskelaufbauend gearbeitet werden kann. Dadurch lassen sich Muskelverkürzungszustände ausmerzen und es kann dadurch im weiteren Trainingsverlauf außerordentlich effektiv gearbeitet werden.

Es existiert derzeit eine Vielzahl an rumpfstabilisierenden Übungen im trainingswissenschaftlichen Bereich. Die Auswahl der in dieser Arbeit verwendeten Übungen basiert auf den Auswahlkriterien von SOMMER (1987). Diese Übungen verinnerlichen die in Kapitel 3.3 beschriebenen Trainingsmaxime eines effektiven Kraft- und Haltungstrainings und stellen die Basis des kompletten Interventionskonzepts dar. Aufbauend auf diese Basis schließen sich die volleyballspezifischen Übungen nach FÖRSTER (2006) an. Diese Gliederung ist bewusst gewählt, da davon ausgegangen werden kann, dass eine optimale Konditionierung der Probanden nur mit den Basisübungen vollzogen werden

kann. Dementsprechend werden hier die Grundsteine für jede weitere sportliche Bewegungsausführung gelegt und die Bedeutung der Haltungsmaxime verdeutlicht. Gemutmaßt wird, dass ohne die Basisübungen, das Training von FÖRSTER (2006) bei weitem nicht diese Effektivität erzielt hätte, wie in der Kombination. Zu prüfen wäre rückblickend, ob und wie groß der Effekt der einzelnen Interventionsansätze wirklich ist. Dadurch könnte gezeigt werden, ob der wesentliche Anteil der Leistungssteigerung durch das Basistraining oder durch das daran anschließende volleyballspezifische Training erreicht werden könnte.

Weiterhin kann aufgezeigt werden, dass ein solches Vorgehen unter sportmedizinischer Betreuung von jugendlichen Kaderathleten erfolgreich praktiziert werden kann. Allerdings setzt das, vor allem auf Seiten der Trainer und Betreuer eine Akzeptanz für die Anwendung dieses Trainingskonzepts voraus. Zudem müssen sich die Trainer und Betreuer in Geduld üben, denn die Leistungsoptimierung ist zeitlich verzögert zu erwarten. Aus diesem Grund muss auf kurzfristige erreichbare Erfolge gegebenenfalls verzichtet werden können, denn das Ziel der bestmöglichen Ausschöpfung des sportmotorischen Leistungspotentials setzt zweifellos die Präsenz eines entsprechend optimalen Bewegungsprogramms als Basis voraus. Fehlen diese oder können nicht optimal abgerufen werden, dann ist nach SOMMER (2010) und BERSCHIN (2011) auch keine Leistungsoptimierung zu erwarten.

Diese Erkenntnisse können durch das Vojta-Konzept (vgl. SOMMER 1988, 2010) und durch Erkenntnisse von BERSCHIN (2011, 1999) hinreichend bestätigt werden. Eine optimale, nämlich muskuläre Korrektur einer Gliedmaßenfehlhaltung, sollte folgerichtig mit einer Korrektur vor typischer Ausweichbewegungen des Beckens- und des Schultergürtels und damit auch der Wirbelsäule beginnen. Die im Trainingskonzept umgesetzte Forderung eines ganzheitlichen Trainings berücksichtigt die aktive und kontrollierte Haltungskorrektur zur Gliedmaßenstabilisation, denn von einer peripheren ggf. auch passiven Haltungskorrektur allein kann zumindest keine optimale muskulär kontrollierte Extremitätenstabilisation erwartet werden (vgl. BERSCHIN 2011, SOMMER 1987, SOMMER 2010).

Interessant für eine weitere Untersuchung könnte auch die Frage sein, ob eine solche Trainingsintervention durch eine zeitliche Verlängerung noch mehr positive Effekte und - ob oder - wann die Leistungssteigerungen beginnen zu stagnieren bzw. sich auf einem bestimmten Leistungsniveau einpendeln. Die vorliegende Arbeit geht davon aus, dass

auch in Hochleistungsbereich durch das vorgestellte Training eine Optimierung der Bewegungsabläufe stattfinden kann und dass es immer an der maximalen Leistungsfähigkeit der Sportler arbeitet. Die Stabilität im Rumpf könnte sich, durch über einen längeren Zeitraum laufende Trainingsphase, verbessern, was eine Leistungssteigerung laut SOMMER (1987) herbeiführt. Allerdings setzt die weitere positive Entwicklung ein kontinuierliches Training der Bauchmuskulatur voraus.

Die Übungen in dieser Studie wurden über einen Zeitraum von einem Jahr durchgeführt. Dabei sollten die Übungen immer zu Beginn der jeweiligen Trainingseinheit absolviert werden. Diese Methodik birgt folgende Probleme. Da die Probanden in unterschiedlichen Vereinen und somit auch unterschiedlichen Wettkampfklassen in ihren heimischen Vereinen spielen und trainieren, kann es sein, dass einige von ihnen bis zu vier Trainingseinheiten in der Woche haben und andere nur die geforderten zwei absolvieren. Des Weiteren kann nicht überprüft werden, mit welcher Intensität die Probanden die Übungen in den heimischen Vereinen durchführen, da nur während der Kaderlehrgänge explizit darauf geachtet werden konnte. Allerdings wurden die Heimtrainer in der Multiplikatorenschulung zu Beginn des Untersuchungszeitraums instruiert, wie die Übungen abzulaufen haben und diese überwachen.

8.2 Ergebnis- und Hypothesendiskussion

8.2.1 Optimierung der Sprungqualität

Die Verbesserung der Sprungqualität erscheint für den Volleyballspieler von essentieller Bedeutung; denn er erscheint dadurch weniger verletzungsanfällig und darf gleichzeitig mit einer besseren intra- und intermuskulären Koordination eine Bewegungsoptimierung mit einer Ökonomisierung der Sprungbewegung erwarten. Leider existieren bis dato in der Literatur noch keine Untersuchungen zu diesem Themenbereich, in denen eine Analyse zur Verifizierung oder zur Falsifizierung durch Vergleichswerte gegeben ist. Vergleichswerte können lediglich aus ähnlichen Studien herangezogen werden, die sich mit ähnlichen Aspekten von Sprunghandlungen beschäftigen haben.

Die Sprungqualität wird in dieser Arbeit über die Merkmale Sprunghöhe und Ausweichbewegungen verschiedener Gelenke der unteren Extremitäten definiert. Und es wird überprüft, ob sich diese durch eine verbesserten Körperhaltung und Rumpfmuskulatur positiv im Sinne einer Optimierung des Sprungverhaltens beeinflussen lassen. An-

ders als in bisherigen Untersuchungen, in denen Sprünge aus dem Stand ausführlich untersucht worden sind (vgl. ARAGON-VARGAS & GROSS 1997, BOBBERT & VAN INGEN SCHENAU 1988, FUKASHIRO ET AL. 1995, GIATSIIS ET AL. 2004, PANDY & ZAJAC 1991, WAGER ET AL. 2009), befasst sich diese Arbeit mit volleyballspezifischen Sprüngen: dem diagonalen Angriffssprung im Volleyball aus der Bewegung und dem Counter Movement Jump.

Die Hypothese, dass sich die Sprungqualität durch die Trainingsintervention an einen durch die beschriebenen Sprungkriterien dargestellten optimalen Sprung annähert und sich die einzelnen Sprungphasen positiv beeinflussen lassen, kann durch die Ergebnisse in der Versuchsgruppe sowohl beim *Counter Movement Jump*, als auch beim diagonalen Angriffsschlag bestätigt werden. Die durch die Sprungkriterien festgelegten Messgrößen für die Ausweichbewegungen (*Average of Displacement* und *95% Ellipse*) haben sich im Vergleich vom Posttest zum Prätest deutlich reduziert und sich den Werten eines als optimal bezeichneten Sprunges angenähert. Die größten Veränderungen durch die Trainingsintervention konnte in der Absprung- und Landephase verzeichnet werden, indem sich neben den Ergebnissen der dynamischen Analyse auch die kinematischen (Videometrie) verbessert haben. Es konnte gezeigt werden, dass durch die Trainingsintervention die Fehlerpunkte, die Kennzeichen eines optimalen Sprunges sind, sich positiv verändert haben. Innerhalb der Flugphase konnten keine deutlichen Veränderungen festgestellt werden. Damit lässt sich das veränderte Absprung- und Landeverhalten auf die gewählte Trainingsintervention zurückführen, wobei es sich gemäß FERRIS ET AL. (2006) und GUISSARD & DUTCHATEAU (2004) um spezifische neuromechanische Anpassungen als Zeichen der Übernahme und/oder Verbesserung von Bewegungsfähigkeiten handeln dürfte. Diese Form der Anpassung wurde erstmals von SOMMER (1987) und BARATTA ET AL. (1988) beschrieben, indem sie der Fähigkeit zur Koaktivierung von Streck- und Beugemuskelgruppen mit der Folge von spezifischen Bewegungsänderungen, eine erhebliche Bedeutung bei der muskulären Stabilisierung der Gelenke beimessen. Diese Einschätzung wird u.a. von HAGOOD ET AL. (1990) und ENOKA 2002) bestätigt. BARATTA ET AL. (1988), HAGOOD ET AL. (1990) und ENOKA 2002) vermuten außerdem, dass eine positive Veränderung der Koaktivierung durch das Trainingsprogramm als Beweis für die Fähigkeit des ZNS eine neuromuskuläre Anpassung in Bezug auf bestimmte motorische Fertigkeiten durchzuführen, interpretiert werden kann.

Mehrere Studien (vgl. BOBBERT & VAN INGEN SCHENAU 1988, PANDY & ZAJAC 1991, VOIGT ET AL. 1995) weisen auf die enorme Bedeutung einer Optimierung der muskulä-

ren Koordination beim Absprung sowohl für Sprungleistung, als auch im Sinne der Überbelastungsprävention hin. Ihre Untersuchungen richten sich allerdings ausschließlich auf Sprünge unter Laborbedingungen und der spezifischen Schulung des Sprungverhaltens durch spezielle Sprungübungen. MASCI ET AL. (2010) betrachten Stärke und Kraft der Muskeln der unteren Extremitäten zwar als die wesentlichsten Determinanten von Sprungleistungen, weisen aber auch auf die wichtige Rolle der Muskelkoordination bei hohen Winkelgeschwindigkeiten. NOYES ET AL. (2005) und BARBER-WESTIN ET AL. (2006) erkennen in der Verminderung der Landekräfte sowie einer Reduzierung der Ausweichbewegungen in medial-lateraler Ebene und das entgegenwirken von muskulären Dysbalancen, das vorrangige Ziel einer Bewegungsoptimierung und erreichen dies im Wesentlichen durch Sprung- und Balance-Training. Die Ergebnisse der Studie von NOYES ET AL. (2005) zeigen, dass sich nach einem Training der Landung die Werte der Abweichung von der idealen axialen Bewegung signifikant in den absoluten Werten für das Knie- und Sprunggelenk verbessern. Damit werden die Ergebnisse dieser Arbeit, allerdings mit dem Unterschied, dass die vergleichbaren Verbesserungen auf eine Verbesserung der Rumpfhaltung und –stabilität zurückgeführt werden darf, bestätigt.

In vergleichbaren Studien zu diesem Thema (vgl. CASTER 1998, DUFEK & BATES 1990, LIEBERMANN & GODMAN 1991, MCNITT-GRAY 1993, ZHANG ET AL. 2000) wird ein verändertes Sprungverhalten der unteren und oberen Extremitäten unter maximalen Belastungen nachgewiesen. Danach verändern sich der Knie- und Hüftwinkel bei zunehmender Belastung, nicht aber der Sprunggelenkwinkel (vgl. MCNITT-GRAY 1993). VAN HUSEN (2005) bestätigt das Schädigungspotential von Ausweichbewegungen und fordert deshalb eine möglichst axial ausgeführte Landebewegung und besonders die Vermeidung einer medialen Kniebewegung.

DEVITA & SKELLY (1992) erkennen aus den Ergebnissen ihrer Untersuchungen, dass die Muskelarbeit bei weichen Landungen höher ist, als bei harten Landungen. Sie schließen daraus, dass bei weichen Landungen die Muskeln mehr kinetische Energie absorbieren. Bei harten Landungen wird die Energie von anderen Systemen, insbesondere dem Skelettsystem, aufgenommen und stellt damit eine verstärkte Belastung dar, wobei das Knie besonders betroffen ist. Entsprechend darf durch eine qualitativ und quantitativ gut arbeitende Muskulatur erwartet werden, dass die Belastung um bis zu 50 % zu verringern ist (vgl. HENNE 1999). Dabei bedarf es zu Beginn der Landephase einer Verringerung der Aufsetzgeschwindigkeit des Fußes, ein Abbremsen und dynamisch-exzentrische Kontraktion der Streckmuskulatur mit einem Beugen der Beingelenke und somit auch

eine bessere Lastverteilung über die Zeit (vgl. STEIN & RAUSCHER 1989, VAN HUSEN 2005).

Für HENNE (1999) ist die notwendige Voraussetzung für eine korrekte Landetechnik der Erhalt der optimalen Beinachsen. Ergo sind fehlerhafte Landungen, wie z.B. mit einer Innenrotation der Füße oder eine X-Bein-Stellung der Beine unbedingt zu vermeiden. In diese Richtung zielt auch der Hinweis von BAKER (1990), dass Knierotationen um die Vertikalachse und Hyperextension durch unkontrollierte Landungen verursacht werden können. Beide Darstellungen gehen mit den Ergebnissen dieser Studie in Bezug auf eine nicht optimale Bewegung bei der Landung nach einem Sprung konform.

VAN HUSEN (2005) stellt in seiner Studie dar, dass es beim Absprung und der anschließenden Landung verschiedene Strukturen des Körpers unterschiedlich stark belasten werden. Personen mit unterschiedlichen anatomischen und physiologischen Voraussetzungen reagieren möglicherweise anders auf die gleiche Belastung. Zudem ist der Zustand des Körpers (z.B. Ermüdung, Motivation, Training) ebenfalls zu berücksichtigen. Um den Haltungs- und Bewegungsapparat nicht gesundheitsschädlich zu belasten, sollten alle beim Sprung ablaufenden Bewegungen optimiert werden. Diese Bewegungen entsprechen den von SOMMER (1988) beschriebenen Ausweichbewegungen:

- beidbeinige Landungen mit leicht außenrotierten Füßen
- weiche Landungen sind gegenüber harten Landungen zu bevorzugen (vgl. auch DUFEK & BATES 1990, FRÖHNER ET AL. 1976)
- größere Ausweichbewegungen sollten im Sinne einer axialen Gelenkbelastung vermieden werden (vgl. auch HENNE 1999, SOMMER 1988, SOMMER 2010)
- eine gut ausgebildete und koordinierte Muskulatur kann Belastungsspitzen optimal abdämpfen (vgl. auch DAVITA & SKELLY 1992, DUFEK & BATES 1990, QUADE 1991, SCHMIDTBLEICHER 1983)
- kontrolliertes Führen der Knie in anterior-posteriorer Richtung (vgl. auch STOCOFF ET AL. 1987)
- die Konzentration ist nicht nur auf die Schlagbewegung und Absprungphase zu richten, sondern bis zur Landung beizubehalten (vgl. auch BÜTTNER-JANZ & SCHILLER 1983).

SOMMER (1983, 1988, 2010) begründet sowohl die Ausweichbewegungen im Knie- und Sprunggelenk, als auch die vor allem in der Ermüdung ungünstige zeitliche Lastvertei-

lung bei der Landung gemeinsam auf funktionell-anatomischer und neurophysiologischer Ebene; denn eine insuffiziente Rumpfhaltung mit der Neigung zur Hohlkreuzhaltung und Beckenabkipfung bringt nicht nur ungünstige Hebelverhältnisse der unteren Extremitäten und begünstigt die genannten Ausweichbewegungen und Muskeldysbalancen, sondern stört auch die neurale Steuerung der Gliedmaßenmuskulatur mit einer zu starken Zunahme des Streckertonus v.a. in der ersten Stützphase. Die Kokontraktionsfähigkeit und damit die aktive muskuläre Gelenkstabilisation im Gegenspannungsprinzip verschlechtern sich ebenso, wie das nachgebende Verhalten in der ersten Stützphase.

In Anlehnung an vergleichbare Haltungs- und Muskeltonisierungsprobleme bei zentralen Bewegungsstörungen und den korrespondierenden Interventionsansätzen, fordert und benutzt er deren Konzepte für die Korrektur von Bewegungsstörungen im Sport. Dabei wird nicht, wie bei den oben genannten Autoren und Autorengruppen, das kompensierende Training von zu schwachen Muskelgruppen, das Stretchen von verkürzten Muskeln sowie die Koordinationsschulung der Sprungbewegung oder ein Gleichgewichtstraining respektive sensomotorisches Training gefordert, sondern zu allererst das Training der optimalen Rumpfaufrichtung. In verschiedenen Arbeiten BERSCHIN (2010, 2011) ELLENBERGER (2008), FISCHER (2010) und SOMMER (2010) sowie SOMMER & ROHRSCHEIDT (1988) wurde der Nachweis erbracht, dass mit einem entsprechend komplexen Haltungstraining, als Basis auch der Marburger Haltungsschule, die erwartenden positiven Effekte zu erzielen sind.

Die Trainingsintervention der vorliegenden Arbeit liefert einen weiteren Beleg für die Wirksamkeit dieses ursprünglich von SOMMER entwickelten Handlungsansatzes; denn, anders als in der Versuchsgruppe, zeigen sich innerhalb der Kontrollgruppe, die sich von den Trainingsinhalten nur durch das fehlende Interventionstraining respektive komplexe Haltungstraining unterscheidet, keine nennenswerten positiven Veränderungen. Die ermittelten Werte der Videometrie des *Counter Movement Jumps* zeigen eine leichte Verschlechterung der Ausgangswerte. Ebenso zeigen sich nur minimale positive Veränderungen der Ausgangswerte in Bezug auf den diagonalen Angriffsschlag. Zusätzlich sind die ermittelten Abdominometriewerte als bedeutsames Maß für die Fähigkeit zur optimalen Wirbelsäulenaufrichtung und Hinweis auf die spezifische Wirkung dieser Intervention deutlich schlechter.

Diese Ergebnisse können dadurch erklärt werden, dass es ohne ausreichend stabilisierend wirkende Muskulatur zu typischen Bewegungsstörungen kommt. Sie äußern sich im Bereich der unteren Extremitäten durch eine Innenrotation und Adduktion des Femurs, eine Extension des Kniegelenkes und einer Spitzfußhaltung mit Fußadduktion in der ersten Bodenkontaktphase bei der Landung. In der zweiten Stützphase kommt es zu einer gegensinnigen Ausweichbewegung mit einer funktionellen Valgusstellung des Kniegelenks in Folge der verstärkten Innenrotation des Femurs und der Flexion des Kniegelenkes zusammen mit einer Pronation und Abduktion des Fußes. Für den Rumpf gilt darüber hinaus, dass das Becken mit der Ermüdung jeweils zunehmend nach ventral abkippt und sich die Lendenwirbelsäulenlordose verstärkt. Dieses Verhalten zeigt sich innerhalb der Kontrollgruppe im Posttest wie im Prätest, so dass ein Standardtraining, wie in der Kontrollgruppe, offensichtlich nicht genügt, um positive Veränderungen, wie in der Versuchsgruppe zu bewirken. Vielmehr kann durch die Videometrie aufgezeigt werden, dass sich die Ergebnisse und der Zustand sogar verschlechtert. Dies wird von verschiedenen Autoren nicht anders erwartet. Sie gehen davon aus, dass ohne ein adäquates Kraft- und Haltungstraining eine Verschlechterung der Körperhaltung und somit auch eine Zunahme von muskulären Dysbalancen eintreten (vgl. BERSCHIN 1999, DAVITA & SKELLY 1992, DUFEK & BATES 1990, QUADE 1991, SCHMIDTBLEICHER 1983, SOMMER 1988, SOMMER 2010, STEIN & RAUSCHER 1989).

GEBERICH ET AL. (1987), GRAY ET AL. (1985) und SOMMER ET AL. (1987) sehen Ergebnisse wie in der Kontrollgruppe in Bezug auf Verletzungen sehr problematisch. Sie gehen davon aus, dass 58 % bis 61 % der kontaktlosen Verletzungen bei der Landung nach einem Sprung auftreten. Die endgültige Position des Knie- und Sprunggelenkes bei der Landung wird durch den Schwerpunkt des Oberkörpers und die Position des Rumpfes beeinflusst. Diese Bewegungen müssen durch die Rumpf- und Extremitätenmuskulatur ausgeglichen werden, sind diese insuffizient, dann kommt es zu den in der Studie festgestellten medialen Ausweichbewegungen. Sollte der Athlet aus dem Gleichgewicht kommen oder Kontakt mit einem anderen Spieler bei der Landung haben, kann die schwache gelenkumgreifende Muskulatur und schwache Rumpfmuskulatur nicht mehr helfen, die Gelenke in die richtige Position zu bringen. Es kommt zu Belastungsspitzen und Fehlhaltungen die eventuell Verletzungen nach sich ziehen (vgl. NOYES ET AL. 2005).

8.2.2 Verbesserung der Sprungfähigkeit

Die Ergebnisse der durchgeführten Trainingsintervention belegen, dass sich die Sprungfähigkeit mit dem Merkmal Sprunghöhe bei dem in der Untersuchung angewandten Sprung verbessert hat. Bezogen auf die einzelnen Jahrgänge weist der Jahrgang 95/96 die größte Steigerung auf. Trotz der im Ergebnisteil zu erkennenden Schwankungen der Werte, zeigen alle Gruppen eine Verbesserung im Vergleich vom Prätest zum Posttest. Die Schwankungen der einzelnen Jahrgänge lassen sich durch den unterschiedlichen Saisonverlauf begründen. Dieser ist in den verschiedenen Gruppen erstens durch die unterschiedliche Länge der jeweiligen Saison und zweitens durch die unterschiedliche Jugendmeisterschaftsspiele zu erklären. Einige der Probanden sind mit ihren Heimatjugendmannschaften bereits auf Bezirksebene ausgeschieden, andere aber sind bis zur Deutschen Meisterschaft gekommen. Dementsprechend beginnt die Saisonpause für die Probanden nicht gleichzeitig, sondern mit teilweise großem Abstand. Während der Saisonpause findet in der Regel kein normaler Trainingsrhythmus statt, dies belegen auch die Daten der Trainingsprotokolle.

Nach den Ausführungen von SOMMER ET AL. (1987) kann davon ausgegangen werden, dass Extremitätenbewegungen (hier Sprungbewegung) nicht nur abhängig von Muskulatur, Gelenkbeweglichkeit und den knöchernen Hebeln sind, sondern auch von der Stabilität des Rumpfes. Das von SOMMER ET AL. (1987) entwickelte und hier vorgestellte Konzept berücksichtigt muskuläre Dysbalancen und damit auch Bewegungseinschränkungen als die auf den Haltungs- und Bewegungsapparat bezogenen systemimmanenten Schwachstellen. Die Übungen des Konzeptes agieren gegen diese muskulären Dysbalancen und Bewegungseinschränkungen. Durch eine Aktivierung und Kräftigung der jeweiligen Antagonisten, unter Einbeziehung der kompletten Funktionskette, wird den leistungslimitierenden unvermeidbaren Ausweichbewegungen, die ein Überlastungs- und Verletzungsrisiko bedeuten, entgegengewirkt. Ähnliche Erkenntnisse sind u.a. auch bei SOMMER ET AL. (1987) und SOMMER (2010) sowie BERSCHIN (2011) zu finden. Durch das spezielle Trainingskonzept wird eine „aktive Beherrschung von Muskelverkürzungen und Ausweichbewegungen erreicht“ (SOMMER ET AL. 1987, S. 1766).

Nach SOMMER ET AL. (1987) gehören „Muskelverkürzungen wie auch Ausweichbewegungen zu den wesentlichen die Überbelastung und Leistung beeinflussenden Faktoren“ (SOMMER ET AL. 1987, S. 1766). Auch in der neueren Literatur gehen BERSCHIN (2011), FRÖHNER (2000 und 2007) sowie FRÖHNER ET AL. (1999) ebenfalls von diesen Faktoren

als Ursache von Leistungsverminderungen aus. Dass eine Verbesserung dieser beiden Faktoren zu einer Leistungssteigerung führt, kann durch die Ergebnisse dieser Studie in Bezug auf die Sprungfähigkeit untermauert werden. Die erzielte Abnahme von Ausweichbewegung lässt auf eine bessere Muskelbalance und somit auch auf zumindest günstigere Muskelfunktionszustände schließen, aber auch günstigere Stabilisierungsvoraussetzungen des Rumpfes. Die besseren Rumpfkraftwerte (Abdominometrie) bestätigen die verbesserte Rumpfstabilität. Die damit zu erwartende bessere Hebelnutzung der unteren Extremität und die besseren Voraussetzungen für die Beschleunigung eines stabilen und gut gespannten Körpers erklären hinreichend die Verbesserung der Sprunghöhen in der Versuchsgruppe (vgl. LUDWIG ET AL. 2003, SOMMER & ROHRSCHEIDT 1988).

Die Sprungart, *Counter Movement Jump*, in der sich die Sprunghöhe vergrößert hat, ähnelt einer Spielhandlung, die in einem Volleyballwettkampfspiel und im Training regelmäßig von Volleyballern durchgeführt wird. Speziell die Block- und Angriffshandlungen können hier in den Vordergrund gestellt werden. Es kann also eine durch einen Lerneffekt eintretende Verbesserung der Sprunghöhe ausgeschlossen werden, allein weil in der Kontrollgruppe keine Verbesserung nachzuweisen ist. Angenommen werden kann stattdessen, dass eine zunehmend bessere Koordination der hüftgelenksumgreifenden und rumpfstabilisierenden Muskelgruppen stattgefunden hat. SOMMERS (1998) Hypothese, dass durch eine bessere Haltung die Leistungsfähigkeit gesteigert werden kann, lässt sich dadurch unterstützen.

Weiterhin ist anzunehmen, dass durch das Training die Reaktivkraftfähigkeit der Probanden verbessert wurde; denn diese Form der Kraft wurde nicht speziell in der Trainingsphase trainiert. Es muss also angenommen werden, dass die Kraftleistungen, die während der Trainingsphase geleistet wurden – vorwiegend wurde im Maximalkraftbereich mit einer Mischung aus exzentrischer und konzentrischer Kontraktion gearbeitet – dazu beitragen haben, dass eine Leistungssteigerung in Form einer Sprunghöhensteigerung stattgefunden hat. Die Maximalkraft, die bei den Übungen aufgebracht wurde, kann für eine Steigerung der Reaktivkraft verantwortlich gemacht werden. So führt ein Anstieg der durch das Training erworbenen Kraft sekundär auch zu einer Erhöhung der Reaktivkraft. Durch eine Verbesserung der intra- und intermuskulären Koordination kann diese entstandene Kraft zudem noch effektiver genutzt werden, um eine nach einem Sprung von einer Erhöhung aufgebaute Spannung effektiver zu nutzen, um vertikal abzuspringen. Studien, die in diesem Zusammenhang von HERMAN ET AL. (2008),

MASCI ET AL. (2010), NOYES ET AL. (2005), WAGNER ET AL. (2009) sowie ZIV & LIDOR (2010) ähnliche Parameter untersuchten, können das teilweise belegen.

FRÖHNER (2008) merkt an, dass zudem für ein optimales Training der Belastbarkeit noch eine ausreichende Entwicklung der motorischen Fähigkeit vorhanden sein muss. Außerdem wird auf die Korrelation einer gut ausgebildeten motorischen Fähigkeit und dem daraus resultierenden erweiterten Handlungsspielraum und natürlich in Folge dessen einen aktiven Schutz vor Verletzungen (bei zufälligen Bewegungsänderungen) und Fehlbelastungsfolgen hingewiesen. Diese koordinativen Fähigkeiten und Fertigkeiten lassen sich durch das Trainingskonzept besonders im Kindes- und Jugendalter erreichen; denn das nervale System und damit die Synapsenvernetzung ist in dieser Altersphase noch sehr anpassungsfähig, so dass nicht nur die Entwicklung der Koordination mit den verschiedenen Qualitäten der Genauigkeit, Schnelligkeit und Zuverlässigkeit von Bewegungen verbessert werden kann, sondern auch die für die Sprunghöhe essentielle Maximalkraftfähigkeiten. Die Ergebnisse mit der gesteigerten Sprunghöhe in dieser Arbeit untermauern diese Annahme von FRÖHNER (2008).

Auch Studien von GOLLHOFER ET AL. (2000) zur Belastungssicherung können bestätigen, dass besonders vor der Pubertät Formen eines sensomotorischen Trainings einen erheblichen, positiven Effekt zur Aufrichtung der Körperhaltung und dessen Stabilisierung ermöglichen. Sie festigen auch die Annahme, dass durch eine korrekte neuromuskuläre Ansteuerung eine Erhöhung des notwendigen Kraftpotenzials durch die Muskeln für Haltung erreicht werden kann.

BRUHN (2006) ist der Meinung, dass – entsprechend der klassischen Trainingslehre – nach intensivem Krafttraining regelmäßig eine erhöhte neuromuskuläre Aktivierung korrespondierend mit Verbesserungen der Explosivkraftparameter bei maximalen isometrischen Muskelaktionen eintritt. Die Wirkung eines intensiven Krafttrainings wird mit Verbesserungen in der Frequenzierung und Rekrutierung der motorischen Einheiten erklärt. Diesen Aussagen zur Folge kann die Verbesserung der Sprungkraftfähigkeit auf ein Kraft- und Haltungstraining zurückgeführt und bestätigt werden.

In diesem Zusammenhang erkennen FRÖHNER (2008) und OLTMANNS (2007) im Trainingskonzept des sensomotorischen Trainings ein Training der Steuerung und Kontrolle von Bewegungen auf der Grundlage von Sinnesrückmeldungen. Dabei werden Wahrnehmungen des Sehens, des Vestibularapparats, der Propriozeptoren der Muskeln, Sehnen und Gelenke, die dem Trainierenden Informationen zum Gleichgewicht, zur Be-

schleunigung, zu inneren und äußeren Kräften und Spannungen geben, konditioniert und trainiert. Das durchgeführte Training bietet demzufolge schon im Kindes- und Jugendalter, neben dem Training vielseitiger Bewegungen und dem Erlernen der zweckmäßigen Technik der jeweiligen Sportart, sowohl die Grundlage einer sportlichen Leistungsentwicklung, als auch die Grundlage einer höheren Belastbarkeit, besonders des Stütz- und Bewegungssystems und der allgemein-organismischen Funktionssysteme.

Die im Vorfeld aufgestellte Hypothese in Bezug auf die Kontrollgruppe kann nicht bestätigt werden. Das vermutete Gleichbleiben des Leistungsniveaus der Kontrollgruppe wurde durch die erhaltenen Ergebnisse der Sprunguntersuchung falsifiziert. Es haben sich nicht nur alle Ergebnisse gegenüber der Versuchsgruppe verschlechtert, sondern auch innerhalb der Kontrollgruppe.

Es wurde vermutet, dass sich die Werte ohne ein Kraft- und Haltungstraining nicht verbessern würden. Zu erklären ist diese Abnahme durch einen Kraftverlust der Rumpfmuskulatur und einer daraus folgenden Instabilität der systemimmanenten Schwachstelle am Becken. Das durch ein Kraft- und Haltungstraining angeeignete, für eine optimierte Bewegung erforderliche Spannungsgefühl verschwindet. Die Hypothese von SOMMER (1998), dass ohne ein Kraft- und Haltungstraining das erforderliche Spannungsgefühl verschwindet und dieses nur durch ein kontinuierliches Training erhalten werden könne, welches regelmäßig durchgeführt werden sollte, kann mit dieser Studie gestützt werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass innerhalb der Kontrollgruppe kein Kraftzuwachs der rumpfstabilisierenden Muskelgruppen eingetreten ist. Der deutliche Unterschied von ca. zehn cm im Vergleich zur durchschnittlichen Sprunghöhenentwicklung der Versuchsgruppe veranschaulicht und betont nochmals die enorme Wichtigkeit eines Kraft- und Haltungstrainings nicht nur zur Leistungssteigerung, sondern v.a. zum Erhalt eines bestimmten Leistungsniveaus. Ferner kann die Sprungkraftfähigkeit durch mangelnde Anforderung der beteiligten Muskelgruppen und die dadurch bedingte leichte Zurückbildung einzelner Muskelgruppen erklärt werden (vgl. BERSCHIN 2011, FRÖHNER ET AL. 1999).

8.2.3 Reduzierung der Ausweichbewegungen

Die Ausrichtung der Faserstrukturen der Binde- und Stützgewebe des Haltungs- und Bewegungsapparates weist im Zuge der bevorzugten Belastbarkeit eine Hauptbelastungsebene auf. Aus diesem Grund werden jene Belastungen gut toleriert, die mit einer Zugbeanspruchung, auf den überwiegenden Anteil der Kollagenfaser im Gewebe wir-

ken. Demgegenüber führen alle anderen Belastungen, die sich aus dieser Belastungsrichtung herausbewegen, das ist überwiegend bei Ausweichbewegungen festzustellen, zu Scher- und Torsionsbelastungen mit einem erhöhten Schädigungspotential wegen der geringeren Belastbarkeit für diese Art der Belastung (vgl. FUNG 1981, SOMMER 2010).

Die enge positive Wechselbeziehung von Muskeldysbalancen, Ausweichbewegungen, Muskelstabilisierungsdefiziten und Überbelastungsreaktionen sind inzwischen auch deshalb unstrittig. Gerade bei der Landung nach einem Sprung führt eine unzureichende Stabilität zusammen mit einem reduzierten Nachgeben der Streckmuskulatur auf eine einwirkende Kraft, bei einer entsprechend ungünstigen Lage des Körperschwerpunkts über der Abstützfläche und räumlichen Zuordnung der Extremitätenhebel, unweigerlich zum Überschreiten der Belastbarkeitsgrenze, was entweder eine Verletzung oder Überbelastung bedeutet (vgl. BOBBERT ET AL. 1988, FELTNER ET AL. 1999, SOMMER 1987 & 2010, VAN HUSEN 2005).

In VAN HUSENS Studie (2005) spielen die unteren Extremitäten beim Abfangen des Landeimpulses eine entscheidende Rolle. Er geht davon aus, dass durch einen entsprechenden Muskeleinsatz die Bewegung bei der Landung im Sprung-, Knie- und Hüftgelenk, die hohe Druckbelastungen auf Knochen und Knorpel sowie hohe Zugbelastungen auf Muskeln und Sehnen ausüben, hinreichend kontrolliert werden kann.

Wie die Ergebnisse der Studie von VAN HUSEN (2005) zeigen, ist die Landebewegung nicht nur auf die anterior-posteriore Ebene beschränkt, sondern wirkt sich auch, und das sogar deutlich, auch in medial-lateraler Richtung aus. Er konnte belegen, dass bei beidbeinigen Landungen die lateralen Ausweichbewegungen und die Belastungsparameter negativ miteinander korrelieren. Diese vorwiegend lateralen Ausweichbewegungen haben allerdings nicht die Funktion, den Weg zum Auffangen des Landeimpulses zu verlängern. Die seitlichen Bewegungen im Knie-, Hüft- und Sprunggelenk können zwar Spitzenbelastungen abfangen, doch wirken sich die dabei entstehenden maximalen Gelenkkräfte schädigend auf die Gelenke aus. MASCI ET AL. (2010) und WAGNER (2009) stützen diese Annahmen. Neben der typischen Ausweichbewegung im Bereich des Kniegelenkes in den Stützphasen einer Landung nach einem Sprung, gibt es ebenfalls typische Ausweichbewegungen im Bereich der Sprunggelenke und des Fußes. Letztere sind in der ersten Bodenkontaktphase gekennzeichnet durch eine Streckung des Sprunggelenks und Supinationshaltung des Fußes und in der letzten Stützphase durch eine Beugung im Sprunggelenk und Pronations- und Abduktionshaltung des Fußes. Beide

Positionen sind überbelastungsträchtig und stellen Ausweichbewegungen dar, die in der Ermüdung sich verstärken (vgl. BERSCHIN 1999, SOMMER 1989).

In dieser Untersuchung zeigen sich deutliche Ausweichbewegungen auch schon im ermüdungsfreien Zustand. Diese seitlichen Bewegungen variieren im Bereich von mehreren Zentimetern. Sie sind zum einen personenspezifisch und zum anderen sprungspezifisch. Die Landungen nach dem diagonalen Angriffsschlag weisen größere Ausweichbewegungen auf als Landungen auf der Kraftmessplatte.

SOMMER (1988) sieht die Ursache für diese Ausweichbewegungen in der sich nicht in Balance befindlichen Rumpfmuskulatur. Diese muskuläre Dysbalancen, bestehend aus verkürzten (*M. iliopsoas*) und abgeschwächten Muskeln (*Mm. glutei*, *Mm. ischiocrurales*, *Mm. abdominis*), verhindern eine suffiziente Stabilisation des Beckens (vgl. BERSCHIN 2011, SOMMER 2010). Eine derart überlastungsträchtige Situation entsteht nach KREMER (1992) am Ende von Sprungserien, also bei Ermüdungsbedingungen, wenn bei der Landung die Körperspannung nicht mehr in dem erforderlichen Maße aufrechterhalten werden kann. Auch für SIEBER ET AL. (1989) besteht ein Zusammenhang zwischen Muskelzustand und Belastung. Aus diesem Grund erlangen sowohl Ausweichbewegungen, als auch die reduzierte Stabilität und das eingeschränkte Dämpfungsverhalten in der Ermüdung bei einem sich im Wachstum befindlichen Haltungs- und Bewegungsapparat eine im Vergleich zum Ausgewachsenen zusätzliche Bedeutung.

Die für diese Untersuchung aufgestellte Hypothese, dass sich die Gliedmaßenführung durch das Trainingsprogramm verbessert und dass sich durch das Trainingskonzept die zu erwartenden Ausweichbewegungen sowohl in anterior-posteriorer Ebene, als auch in medio-lateraler Ebene bei der Landung nach einem Sprung innerhalb der Versuchsgruppe reduzieren kann, konnte größtenteils bestätigt werden. Eine signifikante Veränderung zeigt sich vorwiegend nur in medio-lateraler Richtung. Die auftretende bessere Gliedmaßenführung kann auf eine höhere Gelenkstabilität zurückgeführt werden. Diese wird durch das spezielle Kraft- und Haltungstraining der gelenkumgreifenden Muskulatur erreicht. Durch die trainierte Muskulatur kann das Gelenk besser in seiner Bewegungsebene gehalten werden und seitliche Ausweichbewegungen können minimiert werden. In Folge des Trainings kommt es durch den Muskelaufbau außerdem zu einer Verbesserung der natürlichen Gelenkausweichbewegungen nach anterior-posterior. Sie können ebenso, wie die Verbesserungen der mediolateralen Ausweichbewegungen,

durch eine Muskelkraftverstärkung begründet werden. Das Training wirkt, wie SOMMER schon 1987 postulierte, somit nicht nur leistungssteigernd, sondern darüber hinaus auch verletzungsprophylaktisch. Weitere Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Körperhaltung und den koordinativen Fähigkeiten, speziell von Gleichgewichtsfähigkeiten, zeigen eine deutliche Kopplung. Das geht aus Untersuchungen von LUDWIG & SCHMITT (2006) und der vorliegenden Studie deutlich hervor. Die Ergebnisse verwundern nicht, denn sowohl die Aufrechterhaltung einer stabilen Körperhaltung, als auch die Durchführung einer komplexen Bewegung erfordern die exakte Abstimmung einzelner Muskelgruppen aufeinander. Hierbei werden verschiedene motorische Programme optimal aufeinander abgestimmt.

Die Trainingsintervention verursacht eine positive Entwicklung der Extremitätenführung der unteren Extremitäten, wobei vor allem die medialen Ausweichbewegungen innerhalb der Versuchsgruppe signifikant reduziert werden. Begründet werden kann diese Verbesserung durch die Stärkung der Rumpfmuskelkraft, welche über eine bessere Körperbeherrschung zu einer verbesserten Extremitätenführung führt. Untersuchungen und Studien von BRUHN ET AL. (2004), FISCHER (2010), LOHRER ET AL. (2000), SCHMITT & LUDWIG (1999), SOMMER ET AL. (1987) und SOMMER (2010) belegen, dass die Verringerung der Ausweichbewegung auf eine intra- und intermuskuläre verbesserte Koordination sowie die Aktivierung der zur gelenkstabilisierenden Wirkung beitragenden propriozeptiven Sensoren stattgefunden haben. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Probanden über die in Folge der Trainingsintervention aufgebaute Konditionierung vermehrt in der Lage sind, ihre Körperspannung/Körperhaltung, welche eine enorme Kraftausdauer abverlangt, für die jeweilige geforderte Bewegung aufzubauen und zu halten. Dieses Ergebnis lässt sich auch in den Studien und Untersuchungen in Bezug auf die medialen Ausweichbewegungen von BARBER-WESTIN ET AL. (2006), MASCI ET AL. (2010) sowie NOYES ET AL. (2005) unterstützen und bestätigen.

Diese Erkenntnis ist nicht nur für den Bereich der Leistungssteigerung von Bedeutung, sondern durch die Verringerung der Ausweichbewegungen bei Bewegungen koppelt sich auch eine erhöhte Verletzungsprophylaxe. Der Körper kann durch den gestärkten Muskel- und Bandapparat bei Landungen nach Sprüngen oder anderen Belastungen besser im Gleichgewicht gehalten werden.

Des Weiteren können die Aussagen von BRUHN (2003) bestätigt werden, dass der gelenkstabilisierende Apparat aus Bändern und Muskeln schneller auf andere Bewegun-

gen und damit verbundene Bewegungsreize reagieren kann. Diese schnellere Innervation wirkt sich positiv auf die Adaptation der propriozeptiven Sensoren, die zur Überwachung der Bewegung dienen, aus. Bewegungen können sicherer ablaufen und in ihren Kombinationen umfangreicher gestaltet werden.

Die auffallenden Ergebnisse einer minimalen Reduzierung der Ausweichbewegungen sowohl anterior-posterior, als auch medial-lateral der Extremitätenführung innerhalb der Kontrollgruppe lassen sich vermutlich durch Übungen des Techniktrainings begründen, welche teilweise auch Einfluss auf die gelenkumgreifenden Band- und Muskelstrukturen der unteren Extremitäten haben können. Diese können zudem auch durch regelmäßiges Lauftraining verstärkt werden. Ein Ausschluss dieser Faktoren kann nicht gegeben werden, da die Trainer nur die Anweisung hatten kein Kraft- und Haltungstraining durchzuführen.

Anknüpfend an diese Feststellung muss an dieser Stelle auf die Wichtigkeit einer ausreichend trainierten Muskulatur verwiesen werden, die dadurch den Athleten vor Verletzungen schützt. Nach VAN HUSEN (2005) korrelieren bei beidbeinigen Landungen die lateralen Ausweichbewegungen und die Belastungsparameter negativ miteinander. Die vorwiegenden medio-lateralen Ausweichbewegungen besitzen die Funktion, den Weg zum Abfangen des Landeimpulses zu verlängern. In Folge dessen steigen parallel die maximalen Gelenkkräfte im Sprung- und Hüftgelenk an und erhöhen somit die Belastungen in den übrigen Gelenken, so dass man von einer negativen Folge ausgehen muss. Demnach könnten die seitlichen Ausweichbewegungen des Kniegelenkes die Spitzenbelastungen nicht verringern. Zudem hat SOMMER (1983) in einer Untersuchung eine erhöhte Ausweichbewegung bei Basketballspielern unter Ermüdungsbedingungen festgestellt. Innerhalb der vorgelegten Studie kann aufgezeigt werden, dass diese von SOMMER (1983) beschriebenen Ausweichbewegungen auch im ermüdungsfreien Zustand auftreten.

Die medio-lateralen Ausweichbewegungen sind untersuchungs- sowie sprungspezifisch und demonstrieren, welches enorme schädigungspotential dadurch auf das Gelenk wirkt (Abb. 58). Ferner können solche Ausweichbewegungen auf unterschiedliche muskuläre Dysbalancen und Fehlhaltungen hinweisen, die ja nach Muskelbeanspruchung und Muskelaktivität erzeugt werden. Negative Schlussfolgerung daraus ist, dass solche überlastungsträchtige Situationen, die bei der Landung entstehen, durch die Körperspannung nicht mehr in dem erforderlichen Maße kompensiert werden können.

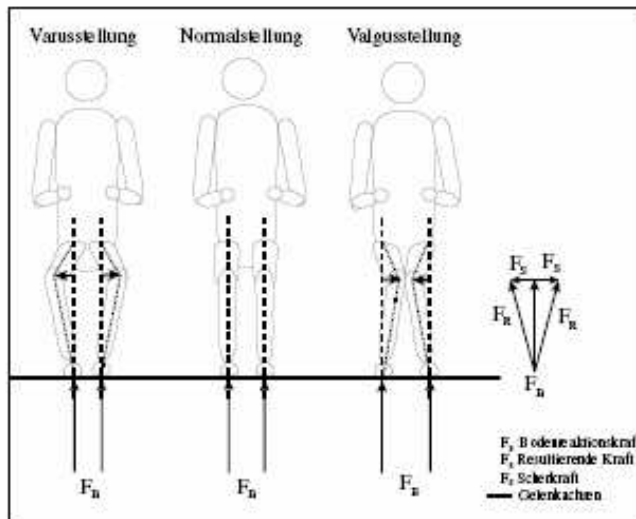


Abbildung 57: Durch Ausweichbewegungen bedingte Erhöhung der Gelenkkräfte in der Frontalebene (aus: VAN HUSEN 2005, S. 120).

8.2.4 Entwicklung des Landeverhaltens

Die im Ergebnisteil berechneten Mittelwerte der *Stiffness* der Versuchsgruppen ergeben eine leichte Verbesserung des Landeverhaltens. Nicht alle Jahrgänge weisen eine gleiche Verbesserung auf. Der Jahrgang 95/96 weist eine deutliche Reduzierung des Mittelwertes auf. Die Jahrgänge 96/97 und 93/94 zeigen wiederum nur leichte Verbesserungen und der Jahrgang 94/95 zeigt annähernd gleichbleibende Werte.

Studien von VAN HUSEN ET AL. (1999), WIEMANN ET AL. (1999) und WOO & YOUNG (1991) sowie KLEE (1995A, 1995B) begründen mit ihren Annahmen diese Ergebnisse. Die durch die Trainingsintervention verbessert arbeitende gelenkumgreifende Muskulatur ist nun vermehrt in der Lage, ein Gelenk, auf Grund der verstärkte Aktivierung der Muskelspindeln und der Golgi-Sehnen-Apparate, in eine bestimmte Gelenkwinkelstellung zu bringen und zu halten sowie gegen die beim Bodenkontakt entstehenden Kräfte zu stabilisieren. Dabei sorgt eine bessere Wahrnehmung durch die propriozeptiven Sensoren im Bereich der Gelenke für eine Feineinstellung des Verhältnisses der Spannungsänderung zur Längenänderung bei einer Bewegung. Neuere Erkenntnisse von SOMMER (2010) beinhalten auch den kinetischen Faktor der entstehenden Energien bei Bewegungen. Diese Energien werden durch eine aufgrund des Kraft- und Haltungstrainings auftretende Verbesserung der bei der Landung stabilisierenden Muskelgruppen absorbiert und an den Muskel- und Bandapparat weitergeleitet. Bilden sich durch ungenügendes Training diese Gewebe zurück, kann der *Stiffness*wert nicht solche Ausmaße

annehmen. Als Folge daraus kann die Muskulatur eine solche auftretende Energie nicht ausreichend absorbieren und es könnte zu Verletzungen des Muskel- und Bandapparates kommen. Eine Zunahme des Wertes kann außerdem durch eine Verbesserung der Reflexinnervation sowie der Elastizität, der Viskosität und der Plastizität des Muskel-Sehnen-Gewebes begründet werden. Durch diese Faktoren lassen sich die Ergebnisse der Kontrollgruppe, die eine Verringerung der Werte ergab, bestätigen und begründen.

Die durch die Steigerung der besser arbeitenden gelenkumgreifenden Muskulatur entstehende Stiffness, kann zunehmend als Gegenkraft, die aufgrund des Widerstands gegen gedehnte Kräfte entsteht, wahrgenommen werden. Nach EHLENZ (2003) ist sie für die Speicherung elastischer Energie und deren Wiederverwendung als elastische Kraft enorm wichtig. Besonders infolge eines initialisierten Spannungsanstiegs zu Dehnungsbeginn ist sie hoch und kann somit durch eine bessere Reflexinnervation die Stiffness noch erhöhen, was eine hohe Gelenkfestigkeit und demzufolge eine erhöhte Belastbarkeit zur Folge hat, die sich wiederum in ein verbessertes Landeverhalten und dementsprechend verletzungsprophylaktisch äußert (vgl. VAN HUSEN ET AL. 1999).

JANHSEN (2001) konnte in seiner Untersuchung zur Landung im Kunstturnen feststellen, dass mit zunehmender Fallhöhe eine Steigerung der muskulären Aktivität auftritt. Bei trainierten Athleten sind die Länge und die Intensität der Vorinnervation stärker ausgeprägt, als bei untrainierten Athleten. Eine gewisse Vorinnervation innerhalb der Sprungphase scheint ein entscheidender Faktor für die Stiffnesseinstellung der an den Gelenken wirkenden Muskeln zu sein. Seine Hypothese, dass sich die durch Training gebildete höhere *Stiffness* mit der Zunahme der Kraftspitzen positiv auf die Gelenkausweichbewegungen auswirken, konnte durch die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigt werden, es scheint dabei zu einer verbesserten Innervation und somit auch zu einer gesteigerten intra- und intermuskulären Koordination gekommen zu sein.

In der Literatur lassen sich verschiedene Angaben zur Beurteilung der Belastung der unteren Extremitäten bei Landungen finden. Demzufolge wirken unterschiedliche Belastungen auf den Körper nach der Landung eines volleyballspezifischen Sprungs. DIESSNER ET AL. (1985) hat eine Einteilung für gute (< 3700 N) und schlechte (> 3700 N) Landungen in Bezug auf die Vertikalbodenreaktionskräfte vorgenommen. Nach diesem Schema sind die in dieser Arbeit gemessenen Landungen ausnahmslos in die erste Kategorie einzuordnen. Laut VAN HUSEN (2005) kann allerdings dieses ausschließliche Augenmerk auf Bodenreaktionskräfte zur Beurteilung von guten und schlechten Lan-

dungen nur eine Orientierung sein. Die tatsächliche Höhe der Gelenkbelastung kann, so VAN HUSEN (2005), dadurch nicht exakt angegeben werden. Auch die von STEIN & RAUSCHER (1989) geforderte Nivellierung der Bodenreaktionskraft bei Landungen bezieht sich nur auf äußere Kräfte und kann damit lediglich als Anhaltspunkt dienen. Für eine Einschätzung der Belastung der Gelenke sind notwendigerweise die in den Gelenken tatsächlich auftretenden Kräfte zu bestimmen.

Laut Studien von STACOFF ET AL. (1987), KÄLIN ET AL. (1988) und GROSS & BUNCH (1989) treten bei Landungen nach Sprüngen die größten Kräfte unter der Ferse auf, auch wenn die Landung zunächst auf dem Vorfuß erfolgt. STACOFF ET AL. (1987) untersuchten die auftretenden Kräfte bei der Landung nach einem Volleyball-Blocksprung (Abb. 59). Die Sprunghöhen lagen zwischen 35 cm und 80 cm. Für den Vorfußbereich stellten sie maximale Kräfte von 1000-2000 N fest. Wesentlich höher lagen die Kräfte unter der Ferse. Die absoluten Spitzenwerte lagen bei 6500 N, was in etwa dem 7-fachen des Körpergewichts entspricht. Die festgestellten Mittelwerte können somit verschiedenen Landetechniken zugeordnet werden. Daraus wiederum lässt sich ein grundsätzlicher Zusammenhang zwischen der Landehärte und der jeweiligen Gelenkbelastung ableiten: Je härter die Landung durchgeführt wird, desto höher ist auch die Belastung. In der vorliegenden Arbeit wurde keine solche Einteilung vorgenommen, die ermittelten Werte beziehen sich auf den kompletten Fußbereich bei der Landung, welche sich in einem Bereich von ca. 1900 N und 3700 N bewegen.

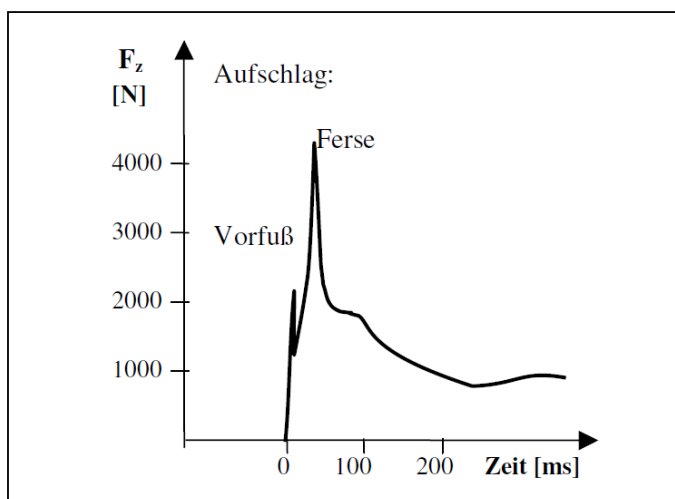


Abbildung 58: Beispiel einer typischen, vertikalen Bodenreaktionskurve bei der Landung nach einem Block (mod. nach STACOFF ET AL., 1987, S. 461).

VAN HUSEN (2005) setzt in diesem Zusammenhang Landungen mit gestreckten Beinen einer harten Landung gleich. Er geht davon aus, dass die kinetische Energie bei der

Landung verstärkt über die passiven Strukturen des Körpers aufgefangen wird. Dabei werden insbesondere das Skelettsystem mit Knochen und Gelenkknorpel übermäßig stark beansprucht. Dies beurteilt PROKOP (1981) als eine wesentliche Ursache für Überlastungsverletzungen. Demgegenüber wird bei weicheren Landungen die kinetische Energie verstärkt über Muskelarbeit aufgenommen, wodurch sich nach BERSCHIN (2011) die Belastung in den anderen Systemen reduzieren kann. Folgerichtig kann, außer, dass zwischen mehreren, nach Landehärte eingestuften Gruppen verglichen wird, eine Übereinstimmung der Ergebnisse dieser Arbeit mit denen in der Literatur gefunden Studien hergestellt werden (vgl. dazu DEVITA & SKELLY 1992, DUFEK & BATES 1990, NIGG 1980, STACOFF ET AL. 1987).

Im Volleyball stellten NIGG (1988) und RICHARDS ET AL. (1996) fest, dass je nach Sprungart unterschiedliche Kraftspitzen entstehen. Dabei konnte NIGG (1988) deutliche Unterschiede zwischen der Landung nach einem Schmetterschlag (5900 N) und der maximalen Werte bei der Landung nach einem Block (3700 N) festgestellt werden. In der vorliegenden Arbeit beziehen sich die ermittelten Werte auch auf den *Counter Movement Jump*. Ergebnisse passen also in das Spektrum der von NIGG (1988) vorgenommenen Einteilung.

Die Ergebnisse der *Stiffness* und das dadurch beeinflusste Landeverhalten müssen aufgrund der nicht eindeutigen Ergebnisse auch vor dem Hintergrund der Landetechnik diskutiert werden. Dabei werden auf Grund der Studie von VAN HUSEN (2005) die Ergebnisse der Sprunghöhen mit einbezogen, weil er in diesem Zusammenhang von einer veränderten Landetechnik bei Zunahme der Sprunghöhe ausgeht. Die Zunahme der Sprunghöhe führt zu einem möglicherweise muskulär bedingten, früheren Aufsetzen der Ferse, wodurch eine Zunahme der Belastung zu erwarten ist. Auf der anderen Seite wird die Landung mit einem geringeren Kniewinkel eingeleitet und mit einer stärkeren Flexion im Laufe der Landung durchgeführt, was sich auch in einer längeren Landedauer widerspiegelt. Insgesamt gesehen kommt es daher zu einer weicheren Landung. Dieser Effekt hebt somit den des Fußaufsatzes zum Teil wieder auf und in den Gelenken ist nur eine geringe Zunahme bei den Belastungsparametern festzustellen. So können die in der Studie aufgetretenen, nicht einheitlichen Veränderungen der *Stiffness* möglicherweise begründet werden. Weitere Indizien zur Bestätigung dieser Annahme könnte das unterschiedliche Alter mit entsprechendem unterschiedlichen körperlichen Konstitution und technischem Können sein. Dementsprechend könnte sich eine Entwicklung der technischen Fähigkeiten auf das Landeverhalten und somit auf die Ergebnisse ausgewirkt ha-

ben. Die hier aufgezeigten Ergebnisse stehen daher nicht im Widerspruch zu den in der Literatur genannten.

STACOFF ET AL. (1987) sind allerdings der Meinung, dass die bei Sprunghandlungen entstehenden Kraftwerte aus gesundheitlicher Sicht kritisch gesehen werden müssen. Ihrer Meinung nach können sich hohe Kraftspitzen bei der Landung nach Sprüngen leistungshemmend oder sogar schädlich auf die beteiligten Strukturen, vor allem im Rücken- und Kniebereich, auswirken. Durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie kann gezeigt werden, dass sich die steigenden Kraftspitzen nicht leistungshemmend auf die Probanden auswirken. Steigende Kraftspitzen gehen sogar mit einer Sprunghöhenverbesserung einher. In Bezug auf eine Schädigung der Athleten kann keine eindeutige Aussage sowohl im positiven, wie auch im negativen Sinne getätigt werden. Allerdings kann aber davon ausgegangen werden, dass aufgrund des trainierten Muskel- und Sehnenapparates der beteiligten Gelenke durch die Trainingsintervention die auftretenden höheren Belastungen besser kompensiert werden können und es zu keiner gravierenden Schädigung in Folge eines Kraftwertanstieges kommt.

Die beobachtete Abnahme der Ergebnisse innerhalb der Kontrollgruppe kann durch ein unzureichendes Training der verschiedenen stabilisierenden Muskelgruppen und durch eine Rückbildung oder Stagnation des rumpfstabilisierenden Muskel- und Bandapparates begründet werden. Den Ergebnissen SOMMERS (1998) folgernd, kann ohne ein Training die Kraft, die aufgrund des Widerstandes gegen dehnende Kräfte entsteht, nicht für eine ausreichende Stabilität sorgen. Zudem findet die Reflexinnervation verlangsamt statt, sodass das Muskel-Sehnen-Gewebe nicht schnell genug auf neue Bewegungseinflüsse reagieren kann. Resultierend daraus werden Instabilitäten verursacht. Die formulierte Hypothese in Bezug auf die Gelenkstabilität kann trotz einer geringen Abnahme bestätigt werden. Diese kann auch durch eventuelle trainingsmethodische Unterschiede herbeigeführt worden sein (vgl. WEINECK 2009). Diese konnten innerhalb der Untersuchungen nicht vollkommen ausgeschlossen werden. BRUHN (2003) kann durch die Ergebnisse seiner Studie aufzeigen, dass die intra- und intermuskuläre Koordination durch das Fehlen eines Trainings (in seinem Fall ein sensomotorisches Training) ausgebaut wird. Durch das fehlende Krafttraining scheint kein Muskelaufbau und dementsprechend keine bessere Innervation der beteiligten Muskelgruppen stattgefunden zu haben.

8.2.5 Zunahme der Rumpfmuskelkraft

Die Wichtigkeit einer gut ausgebildeten Rumpfkraft steht für SOMMER schon seit einigen Jahren im Forschungsschwerpunkt. Für ihn muss dabei aus funktionell-anatomischer Betrachtung berücksichtigt werden, dass eine Kokontraktion der Bauchmuskulatur nicht zwei gelenkig verbundene Skeletthebel bewegt, sondern sich über mehrere (polyartikuläre) Gelenkketten mit mehreren Segmenten erstreckt. SOMMER & BERSCHIN (2007B) sehen das Becken als Ansatzpunkt der Rumpf- und Extremitätenmuskulatur, welches über seine Ausgangsstellung die Arbeitsweise der Bauchmuskulatur bestimmt. In diesem Zusammenhang erscheint die Fähigkeit in Bezug auf die Körperhaltung vor allem in der bipedalen Aufrichtung von fundamentaler Relevanz. Demzufolge ermöglicht eine gut ausgeprägte Bauchmuskulatur, unterstützt von der Gluteal- und Ischiocruralmuskulatur, eine Beibehaltung der entlordosierten Wirbelsäule und somit der Beckenaufrichtung. Diese Beckenposition wird nach SOMMER ET AL. (1987) nicht nur durch das Einwirken der Schwerkraft, sondern auch durch den häufig verkürzten *M. Iliopsoas* beeinflusst. Aus dieser Tatsache heraus, dass eine insuffiziente Funktion dieser Muskulatur zu Grunde liegt, nehmen Überbelastungen und muskuläre Dysbalancen zu. Dementsprechend muss infolge eines nicht optimalen Kraftflusses mit mittelbaren und unmittelbaren Leistungseinbußen gerechnet werden. Nach KAAS (2009) bedingen die hohen mechanischen Belastungen bei der Landung nach Block- und Angriffssprüngen das Auftreten von Überbelastungen und Belastungsspitzen im Volleyball. Hierbei kann eine hohe Korrelation zwischen Kraftwerten der Rumpfmuskulatur und dem Auftreten rezidivierender Überbelastungsschäden von MILTNER (2001) in zahlreichen Studien nachgewiesen werden. Präzise technische Bewegungen können nach FREIWALD ET AL. (2008) dann optimal ausgeführt werden, wenn eine ausreichende Rumpfmuskulatur als stabiles Widerlager in der Körpermitte zur Verfügung steht.

Zur Beurteilung der Kraftfähigkeit der Bauchmuskulatur wird die Fähigkeit geprüft, in Rückenlage das Becken in Zuordnung zu einer entlordosierten Lendenwirbelsäule entgegen der durch das Absenken der Beine wirkenden Kräfte zu halten. Bei dieser Abdominometrie nach BERSCHIN & SOMMER (2007A, 2007B) wurde jeweils der Hüftwinkel gemessen, bis zu dem Punkt diese Stabilisation gehalten werden konnte (s. Kap. 6.3.5). Die Ergebnisse der Versuchsgruppe weisen im Rumpfmuskelkrafttest eine signifikante Verbesserung der Werte in Bezug auf den gemessenen Hüftwinkel auf. Ausgehend von dem altersadäquat niedrigen Niveau können daher Kraftsteigerungen beobachtet werden, die deutlicher sind als bei der Kontrollgruppe. Korrelationen zwischen gut entwi-

ckelter Rumpfkraft und einer verbesserten Haltungskontrolle kann durch die Untersuchungen von ANGAYAN ET AL. (2007) bei professionellen Basketballspielern nachgewiesen werden. Auf den Volleyballsport übertragen kann dies von Bedeutung sein, da eine optimale Körperstabilisation und Haltungskontrolle für Sprungbewegungen von entscheidender Bedeutung sind (vgl. dazu MILTNER ET AL. 2010).

Arbeiten zur Adaptation, sowohl morphologisch, als auch neuronal, des neuromuskulären Systems sind nach MORITANI (1994) infolge von Krafttrainingsbeanspruchungen zweifellos, weil hier vorwiegend neuronale Determinanten der Maximalkraft verantwortlich sind. Bekannt sind dabei auch die positiven Effekte bei internistischen, psychischen und orthopädischen Erkrankungen und Beschwerden (vgl. BRAUMANN 2010, SOMMER ET AL. 1987, ZIMMERMANN 2000).

Weitere Untersuchungen von BARTOLOZZI ET AL. (1991) konnten zeigen, dass ein kontinuierlicher Trainingsaufbau und regelmäßige Stabilisierungsübungen das Auftreten von degenerativen Veränderungen reduzieren können. Aus diesem Grund erscheinen ein myogenes Balanceverhältnis und ein gutes Maximalkraftniveau der Rumpfmuskulatur notwendig. Zudem wirkt sich, wie durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit ersichtlich wird, ein gutes Maximalkraftniveau der Rumpfmuskulatur positiv auf technische Abläufe beim Volleyball aus.

Untersuchungen von CHOLEWICKI ET AL. (1997), GIBBONS & COMERFORD (2001), GRANATA & MARRAS (2000), HILDEBRANDT ET AL. (2005), HODGES ET AL. (2009), LUOTO ET AL. (1998), REEVES ET AL. (2009) sowie VAN DIEEN ET AL. (2003B) belegen die Vermutungen, dass das Training neben den über das Gegenspannungsprinzip beliebig zu erhaltenden oder auch zu verstärkenden Trainingsreizen außerdem zu einem entsprechenden, beide Funktionen berücksichtigenden Aktivierungsmuster der Bauchmuskulatur, beigetragen haben. In Ergänzung zu den Aussagen von HIDES ET AL. (1997), die von prinzipiell unterschiedlichen Regulationsmechanismen als Ursache dieser Aktivierungsunterschiede ausgehen, scheint aufgrund der Ergebnisse der Versuchsgruppe, bei der Regulation der Bauchmuskelaktivität die reflektorische Kontrolle über die antagonistische Muskulatur entscheidend zu sein.

Für eine optimale Körperhaltung ist gerade wegen der entscheidenden Bedeutung der Beckenstellung für die Wirbelsäulenhaltung auch hier die Betrachtung der Ergebnisse der Abdominometrie als Wert der Kraftfähigkeit der Bauchmuskulatur zur Stabilisierung des Beckens und zur Entlordosierung der Lendenwirbelsäule bei zunehmenden

Lasten von besonderer Bedeutung (vgl. FISCHER 2010, SOMMER 2010). Um die Wirbelsäule während des bipeden Standes so aufzurichten, dass sie optimal belastet werden kann, bedingt zum einen eine freie Beweglichkeit und setzt zum anderen die nötige Kraftfähigkeit voraus, die eine Rumpfaufrichtung entgegen der Schwerkraft ermöglicht. Die mit der Abdominometrie gemessene Kraft- und Funktionsfähigkeit der Bauchmuskulatur könnte als diese, dem Ausweichen entgegenwirkende Kraft und der Kraft zur Stabilisationsfähigkeit interpretiert werden, was auch wieder für einen entsprechenden Zusammenhang zwischen optimaler Kraftfähigkeit der Bauchmuskulatur und einer optimalen Körperhaltung spricht. Demzufolge kann den Ergebnissen von KLEE (1995 B, 1995C) entsprechend die Herstellung einer Muskelbalance am Becken über eine Haltungskonditionierung, wie die des Trainingskonzepts, aber nicht wie über ein herkömmliches Kräftigungs- und Beweglichkeitstraining, erzielt werden. Daher stellt die durch die Konditionierung optimierte Aufrichtungsfähigkeit die beste Grundvoraussetzung für ein effektives Ganzkörpertraining dar. Zumal durch eine optimierte Rumpfhaltung nicht nur die Kraft der Rumpfmuskulatur effektiver gesteigert, sondern auch die Extremitäten und deren Hebel effektiver eingesetzt werden kann. Dies geht konform mit den Studienergebnissen von BERSCHIN & SOMMER (2004), FISCHER (2010), HOFMAIER (2005), NADLER ET AL. (2002) sowie VLEEMING (2006).

BERSCHIN (2010) und SOMMER (2010) folgern, dass auftretende Leistungseinbußen sich mit Defiziten der Körperhaltung begründen lassen. Diese äußern sich unter anderem in einer mangelhaften Fähigkeit zur Repositionierung bestimmter Gelenkstellungen. Leistungsdefizite sind somit das Ergebnis von Defiziten in der Haltungswahrnehmung und der Regulation von Gelenkstellungen, Muskelkraft und -spannung sowie sensomotorischen Reaktionen. In diesem Zusammenhang bestätigen die Ergebnisse, dass eine bessere Rumpfmuskelkraft eine größere Belastungsstabilität durch eine verbesserte Rumpfaufrichtungsfähigkeit aufweist.

Betrachtet man allerdings die Ergebnisse der vorliegenden Studie im Zusammenhang mit den Parametern der Sprunghöhe, erscheint es zunächst seltsam, dass sowohl die Versuchs- als auch die Kontrollgruppe in der Abdominometrie höhere Winkel erzielen konnten. Durch die Konditionierung kann anhand der Verbesserung im Bereich der Sprungfähigkeit, vor allem in der Absprung- und Landephase, eine Verbesserung aufgezeigt werden, welche mit einer optimierten Aufrichtungsfähigkeit des Beckens sowie die dafür unabdingbar gut ausgebildeten Rumpfmuskulatur einhergeht. Es kann also davon ausgegangen werden, dass ohne die Trainingsintervention eine solche Verbesse-

rung der Körperhaltung und der damit verbundenen Leistungssteigerung nicht erzielt worden wäre. Aus Untersuchungen von BERSCHIN (2010) und SOMMER (2010) wird klar, dass diese Haltungsdefizite der Kontrollgruppe auf die Unfähigkeit zu einer optimierten Körperaufrichtung zurückgehen. Die Versuchsgruppe ist, entgegen der Kontrollgruppe, imstande, die gesteigerte Fähigkeit zur Becken- und Lendenwirbelsäulenaufriechtung auf die Körperaufrichtung im bipeden Stand zu übertragen. Diese Fähigkeit, die Körperstellung zu repositionieren und Haltungsanforderungen auf verschiedene Bewegungsaufgaben übertragen zu können, ist die Tatsache, welche das Konzept vermittelt und anstrebt. Ohne diese Fähigkeit verpufft das zu erreichende maximale Leistungspotential. Um eine nicht von Haltungsdefiziten geprägte Körperhaltung einnehmen zu können, bedarf es deshalb auch der Verbesserung von Haltungswahrnehmung und -bewusstsein. MEYNER (1997A) und STEVENS (1995) gehen weiter davon aus, dass auf Grund einer langjährig falschen Nutzung des Haltungs- und Bewegungsapparates, die Haltungswahrnehmung so gestört wird, dass Haltungsdefizite nicht mehr als solche registriert werden und sich Fehlhaltungen und -bewegungen einschleifen.

Eine nicht optimierte Körperaufrichtung, wie sie die Kontrollgruppe zeigt, kann durch einen Zusammenhang zwischen defizitärer Koordination und Veränderungen sowie Anpassungen der neuromuskulären Steuerung nach STREICHER (2005) ein Kriterium von Leistungsminderung sein. Die eingeschränkte propriozeptive Fähigkeit und dementsprechend eine mangelnde Tiefensensibilität manipulieren die haltungsrelevante Informationsaufnahme, was wiederum eine adäquate Haltungsaufriechtung sowie fließende ökonomische Bewegungsabläufe unmöglich macht. Hingegen ist die durch die verbesserten Kraftwerte der Versuchsgruppe entstandene erforderliche Koordinationsfähigkeit für eine gute Körperaufrichtung positiv zu deuten. Diese Schlussfolgerungen werden durch Untersuchungen von O'SULLIVAN ET AL. (2003) bestätigt. Zudem interpretieren sie das Defizit als einen Mangel des Positionssinns, der sich in einer Dysbalance der stabilisierenden Muskulatur der Lendenwirbelsäule äußert.

Der Forderung von SOMMER & HOTTENROTT (1998) sowie später SOMMER (2010) die Fähigkeit der Körperaufrichtung zu trainieren und zu schulen begründet sich darin, dass diese in potentiell schädigenden Haltungs- und Bewegungssituationen und vor allem bei muskulärer Ermüdung genutzt werden kann, um Ausweichbewegungen zu verhindern und eventuelle Überlastungen und Schädigungen zu vermeiden. Dieser Forderung kann aufgrund der Ergebnisse der Versuchsgruppe durch die Trainingsintervention Folge geleistet werden; denn die Verbesserung der Rumpfkraft und die gleichzeitige Fähig-

keit, eine optimierte Haltung bei Bewegungen in bipeder Position einzunehmen, wird nur durch eine solche Konditionierung erreicht. Allerdings ist anhand der Werte der Kontrollgruppe zu erkennen, dass auch hier auf irgendeine Art und Weise (eventuell Wiederholung des Abdominometrietests) eine Konditionierung zur Aufrichtung von Becken und Lendenwirbelsäule in der Rückenlage stattgefunden haben muss, diese jedoch nicht einen Transfer in die bipede Aufrichtung und Bewegung wie bei der Versuchsgruppe zulässt. Der Kontrollgruppe scheint es in diesem Zusammenhang nicht möglich, bestimmte Belastungen (hier Sprung-Landung) in verschiedenen Position und Bewegungen akkurat abzufangen. Nach BRÜGGER (1980 & 1996) ist aber die Umsetzung einer aufrechten Körperhaltung auch unter Belastung, wie Training oder Wettkampf entscheidend, um den Haltungs- und Bewegungsapparat vor mechanischen Belastungen zu schützen. Diese Fähigkeit kann durch eine mangelnde Rumpfkraft nicht ausgebildet werden.

Die Konditionierung der Kokontraktionsfähigkeit mit Hilfe des Trainingskonzepts dürfte bei den Ergebnissen im Abdominometrietest eine Schlüsselrolle spielen. SOMMER & HOTTENROTT (1998) sowie SOMMER (2010) haben herausgefunden, dass die Kokontraktionsfähigkeit selbst im Bauchmuskeltraining eine synchrone Aktivierung der Strecker- und Beugerschlinge des Rumpfes und der Gliedmaßen, in Bezug auf die Beckenaufrichtung unter Einbeziehung der Gluteal- und Ischiocruralmuskulatur, schult. Diese Kokontraktionsfähigkeit kann in der Kontrollgruppe nicht in dem Maße festgestellt werden, wie es sich bei der Versuchsgruppe zeigt. Die gemessenen Werte der Kontrollgruppe lassen den Schluss zu, dass sich hinsichtlich einer Verbesserung der Kokontraktionsfähigkeit keine Fortschritte zeigen. Es muss davon ausgegangen werden, dass es nicht zu einer synchronen Ansteuerung der Synergisten kommt und es zu keiner durch das Training vollzogenen Konditionierung in Bezug auf die Beckenaufrichtung in dem Sinne kommt, wie SOMMER ET AL. (1987) es fordern.

Die indes in der Kontrollgruppe beobachtete Kippung des Beckens bei Einnahme der aktiven Haltung ist konform gehend mit KLEE (1995B) und STOCKLIN (2004) als Unfähigkeit eines adäquaten Einsatzes der Kraft der haltungsrelevanten Muskulatur zu interpretieren, was sich schließlich und unweigerlich in einer Leistungslimitierung äußert.

Schlussfolgerung erlauben die Ergebnisse, dass das Kraft- und Haltungstraining, welches die Bauchmuskulatur trainiert, die gleichzeitig die Beckenaufrichtung mit der Entlordosierung, vor allem der unteren Lendenwirbelsäule, konditioniert, aber sowohl diese

Funktionsaufgabe, als auch die der Wirbelsäulenflexion in steter Gegenspannung der Rückenmuskulatur optimiert, besonders effizient ist.

Weitere Untersuchungen erscheinen nun allerdings notwendig, um die in der vorliegenden Studie erzielten Ergebnisse zu verifizieren und allgemeingültige Aussagen über ein volleyballspezifisches Muskelkraftprofil geben zu können. Dabei ist es notwendig, auch für Jugendspieler weitere entsprechende Daten zu erheben. Aus den erzielten Ergebnissen und dem dann für unterschiedliche Altersgruppen evaluierten charakteristischen Rumpfmuskelkraftprofil, können anschließend gezielt präventive und leistungsfördernde Maßnahmen abgeleitet werden. Diese sollten schon im Jugendbereich beginnen, um systemimmanente Schwachstellen möglichst früh entgegenwirken zu können und das Entstehen von Überlastungsschäden und Verletzungen zu verhindern.

9 Zusammenfassung und Fazit

Die Körperhaltung ist im statischen Sinne bereits ein komplexes Phänomen; Körperhaltung im dynamischen Sinne ein äußerst komplexes Phänomen, das häufig mit der Ausprägung von Fehlhaltungen und Dysbalancen korreliert (vgl. Kap 3.1.5). Die vorliegende Arbeit hat das Hauptziel zu überprüfen, ob eine Leistungsverbesserung im Volleyball durch die Verbesserung der Fähigkeit zur stabilen Körperhaltung bzw. einer Optimierung der Körperhaltung ausgelöst werden kann. Vor allem, wie sich diese Trainingsintervention auf Kinder und Jugendliche auswirkt, die sich in der Wachstums- und Entwicklungsphase befinden. Mit Hilfe eines speziellen Kraft- und Haltungstrainings soll dies über eine Stärkung der Rumpfmuskulatur und aller daran beteiligten Muskelgruppen bestätigt werden.

Ausgangspunkt der Studie sind die von SOMMER ET AL. (1988) bereits Ende der 1980er entwickelten Übungen für eine bessere Körperhaltung (s. Kap. 3). Sie wurden modifiziert und erweitert, bis sich daraus ein Übungspool entwickelte, der prinzipiell in jeder Sportart Anwendung findet und an die individuellen Gegebenheiten der einzelnen Sportler und Sportarten mit dem jeweiligen individuellen Leistungsstand angepasst werden kann, sodass sie jederzeit unter maximaler Beanspruchung ausgeübt werden können (s. Kap. 3.3.3).

Auf dieser Basis von SOMMER ET AL. (1988) und auf der Grundlage der Arbeit von FISCHER (2010) über die Marburger Haltungsschule (s. Kap. 3.3.2), die schon die präventiven Wirkungen dieses Trainings genau analysiert hat, baut die Hauptfragestellung dieser Studie auf. Lässt sich durch ein spezielles Kraft- und Haltungstraining und die damit verbundene verbesserte Körperhaltung die Leistungsfähigkeit bei Volleyballern verbessern? Dabei definierte sich Leistungsfähigkeit in Sprunghöhe und im verbesserten Sprung- und Landeverhalten.

Grundlage dieser Fragestellung ist ein funktionales Verständnis, dass eine Kausalbeziehung zwischen Rumpfhaltung und der Gliedmaßenbewegung existiert. Wenn dem so ist und sich entsprechend der in Kapitel 3.1 dargelegten Argumentation die Rumpfhaltung entscheidend auf die Extremitätenhaltung und -führung auswirkt, dann muss sich eine Verbesserung der Ausgangsbedingungen (Rumpfhaltung) demnach auch in einer Verbesserung der anhängigen Parameter (Extremitätenführung) auswirken. Die daraus re-

sultierenden ökonomischeren Bewegungsausführungen sollten nicht nur sichtbar anhand der Zunahme der Rumpfmuskelkraft sein, sondern zudem noch über die Parameter Sprunghöhe, Extremitätenführung und Landeverhalten bestätigt werden.

Zur Beantwortung der oben beschriebenen Fragestellung wurde als Untersuchungsdesign ein Prä-Post-Test-Vergleich zur Beurteilung der Entwicklung der jugendlichen Volleyballspieler erstellt (s. Kap. 6). Die daraus resultierenden Ergebnisse belegen die Wirksamkeit des Kraft- und Haltungstrainings (s. Kap. 7). Es lässt sich eine signifikante Verbesserung der verschiedenen ermittelten Parameter innerhalb der Versuchsgruppe ablesen. Auch die Ergebnisse der Sprünge zeigen, dass es zu einer signifikanten Reduzierung der Ausweichbewegungen gekommen ist.

Insofern können die aus der Hauptfragestellung (s. Kap. 6.2.2) gebildeten Hypothesen der Studie bestätigt werden. Es ist dementsprechend möglich, mit diesem in der Studie angewandten Kraft- und Haltungstraining eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit bei Volleyballspielern zu erzielen. Demzufolge kann weiter begründet davon ausgegangen werden, dass durch eine verbesserte Körperhaltung eine ökonomischere Ausnutzung der Leistungsreserven bei Sprunghandlungen genutzt wird und somit eine erhöhte Leistung in Bezug auf die zu erreichende Sprunghöhe gegeben ist. Eine gute Rumpfstabilität und dementsprechend eine gut ausgebildete und trainierte Rumpfmuskulatur korreliert mit einer optimalen Leistungsausbeute der Sportler. Im Gegenzug kann aus den Ergebnissen der Kontrollgruppe, die sich größtenteils verschlechtert haben geschlussfolgert werden, dass der Verzicht auf ein solches Kraft- und Haltungstraining sich sogar negativ auf das vorhandene Leistungsniveau auswirkt.

Die neuronale Reife impliziert eine gute Synapsenvernetzung um Bewegungen zu lernen und im motorischen Gedächtnis zu speichern. Aus diesem Grund spielt das Alter der Probanden, sie befinden sich alle in der präpuberalen und puberalen Phase der Entwicklung, eine entscheidende Rolle. Außerdem verhindert das optimale Ausnutzen von Leistungsressourcen, durch das Kraft- und Haltungstraining, das Einschleifen von Ausweichbewegungen und dementsprechenden Bewegungsstörungen (vgl. SOMMER 2010, BERSCHIN 2011). Die Wichtigkeit einer möglichst frühen Intervention muss hier angeführt werden, da durch die Spezifität des jeweiligen Sportartentrainings sich der Körper an die zu bewältigenden Belastungen und Beanspruchungen anpasst. Gerade im Kindes- und Jugendalter treten vermehrt negative Anpassungserscheinungen in Form von Ausweichbewegungen auf, die ihre Ursachen unter anderem auch in muskulären Dysbalan-

cen haben. Dieser Anpassungsprozess kann sich schädigend auf einen jungen Organismus in Fehl- oder Überbelastung äußern und folglich resultierende Folgeschäden mit sich bringen. Um dem vorzubeugen, ist es unumgänglich eine solche Trainingsintervention in den regulären Trainingsbetrieb ergänzend aufzunehmen (s. Kap.4).

Besonders im Jugendvolleyball ist es äußerst sinnvoll, eine solche Intervention zu etablieren. Denn gerade bei Sprunghandlungen, in denen der Körper aus einer stabilen Position heraus seinen Körperschwerpunkt verlagert und es einer Sicherung des Gleichgewichts bedarf, ist es wichtig, möglichen Fehlhaltungen und daraus resultierenden Verletzungen vorzubeugen (s. Kap. 3).

Neben dem möglichst frühen Ansetzen des Trainings im Kindes- und Jugendalter, muss allerdings auch auf eine adäquate Ausbildung der betreuenden Trainer geachtet werden. Dies könnte zum einen über regelmäßige Fortbildungen und Schulungen in den jeweiligen Sportarten zum Themenfeld Kräftigung und Training der Rumpfmuskulatur angeboten werden oder zum anderen ein fester Bestandteil in der Trainerausbildung sein.

Als positives Fazit der Studie muss an dieser Stelle die breite Akzeptanz der Durchführung eines solchen Trainings seitens der Probanden, des Verbandes, der einzelnen Vereine und Trainer angemerkt werden. Während der Zusammenkünfte und Multiplikatorenschulung wurde immer wieder großes Interesse bezüglich neuer und einfacher Trainingsinterventionen aller Beteiligten bekundet. Zudem konnten auch die Sportler selbst von der Nützlichkeit und Effektivität sowie der Wichtigkeit der Trainingsintervention überzeugt werden. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass das Herstellen der Akzeptanz im Breitensport einige Zeit in Anspruch nehmen wird, da die gesundheitlichen Aspekte und die damit verbunden Leistungssteigerungen nicht kurzfristig auftreten, sondern sich kontinuierlich mit einem regelmäßigen Training entwickeln. Wer einen kurzfristigen und schnellen Trainingserfolg sucht, wird ihn bei dieser Trainingsintervention nicht finden. Hier geht es um Nachhaltigkeit, einen langfristigen Erfolg und Leistungsoptimierung. Dabei ist es primär unwichtig, in welchem Trainingszustand ein Sportler sich zu Beginn der Intervention befindet, da zu jedem Zeitpunkt mit den Übungen begonnen werden kann.

Als eine über diese Arbeit hinaus und weiterführende Fragestellung sollte geklärt werden, ob eine Verbesserung der Leistung durch das angewandte Kraft- und Haltungstraining sich auch auf den Profisport übertragen lässt. Wie konkret im Leistungssport noch eine weitere Leistungssteigerung erfolgen kann, sollte allerdings Gegenstand einer wei-

terführenden Untersuchung sein. Wobei prinzipiell davon ausgegangen werden kann, dass sich ein solches Kraft- und Haltungstraining ebenfalls Erfolge hervorrufen würde. Zudem könnte eine damit verbundene Analyse die Vorteile der Verletzungsprophylaxe dokumentieren, mittelfristig über eine Saison oder sogar langfristig in Form der Vermeidung von chronischen Fehlbelastungen. Weiter könnten Vergleichsstudien zu sportartspezifischen Stabilitätskomponenten des Körpers zwischen Hallenvolleyball und Beachvolleyball durchgeführt werden, um etwaige Unterschiede oder Gemeinsamkeiten hervorzuheben. Im Fokus könnte der veränderte Untergrund (Hallenboden vs. Sand) stehen, der gerade im Landeverhalten und der Kraftübertragung nach dem Aufkommen im Knie- und Sprunggelenk eine wichtige Rolle spielt. Es wäre möglich die Auswirkungen auf die Ausweichbewegungen vorwiegend in medio-lateraler Ebene genauer zu untersuchen und mit den Ergebnissen vom Hallenvolleyball zu vergleichen. Äußerst interessant wären Untersuchungen in anderen Sportarten, z.B. Basketball, bezüglich der Sprungform und damit einhergehenden spezifischen Landeverhalten. Hierdurch könnten Gemeinsamkeiten und Unterschiede aufgezeigt werden und auf andere Sprungformen übertragen werden.

Ich bin der Meinung, dass ein solches Kraft- und Haltungstraining in jeder Hinsicht für den Sport von großer Bedeutung ist. Dabei möchte ich an dieser Stelle noch einmal das Zitat von MEIER (2005/2007): „Nur ein starker Rumpf macht einen starken Sportler“ anführen. Es diene der Studie als Grundlage und soll sinnbildlich für die enorme Wichtigkeit der Rumpfstabilität stehen. Die Ergebnisse der Arbeit machen zudem deutlich, wie wichtig eine gut ausgeprägte und adäquat trainierte Rumpfmuskulatur und die dadurch erreichte gesunde Körperhaltung sowie ökonomisiert arbeitende Muskulatur für eine Leistungssteigerung des Sportlers sind. Zusammenfassend könnte das Marburger Haltungs- und Krafttrainingskonzept Grundlagen für eine stete und einfache Haltungs- und Bewegungskontrolle liefern, umsetzbar mit den Gütekriterien Anwendbarkeit, Wirksamkeit ebenso wie Effizienz und Akzeptanz im Leistungssport. Für die Praxis würde das bedeuten, dass bisherige sportartspezifische Trainingsprogramme lediglich der Ergänzung und Modifikation im Sinne des Marburger Handlungsansatzes bedürften.

Literaturverzeichnis

AAGAARD, H., JØRGENSEN, U. (1996): Injuries in elite Volleyball. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 6. S. 228-232.

AMTI (2010): Platform System Design. Advanced Mechanical Technology, Inc. Watertown, MA (USA) (Hrsg.). Zugriff am 25.7.2010 unter <http://amti.biz/> (Homepage des Herstellers AMTI-Kraftmessplatten).

ANGYAN L., TECZELY T., ANGYAN Z. (2007): Factors effecting postural stability of healthy young adults. *Acta Physiol Hung* 94. S. 289–299.

ARAGON-VARGAS LF., GROSS MM. (1997): Kinesiological factors in vertical jump performance: Differences among individuals. *J Appl Biomech* 1997 ; 13 : 24-44.

BACCHINI M. (1990): Krafttraining im Volleyball. Diplomarbeit, Universität Basel. S.41-53.

BACHL N., SCHWARZ W., ZEIBIG J. (2006): Bewegung und Sport. In: Bachl N., Schwarz W., Zeibig J. (Hrsg.) *Fit ins Alter*. Springer Verlag, Wien, New York. S. 105-259.

BAKER BE. (1990): Prevention of ligament injuries to the knee. In Pandolf, H., *Exercise and sport science reviews*. Baltimore: Williams & Wilkens. S. 291-305.

BANZER W. (1992): Prinzipien der präventiven Sportmedizin für das Krafttraining von Kindern und Jugendlichen. In: Schütz U. (Hrsg.): *Freizeitunfälle im Kindes- und Jugendalter*. Thieme, Stuttgart, New York. S. 254-258.

BARANTO A., ANDERSEN TL., SWÄRD L. (2009): Preventing low back pain. In: Bahr R. & Engelsen L. (Hrsg.) *Handbook of Sports Medicine and Science: Sports Injury Prevention*. Wiley-Blackwell, Oxford, West Sussex, Hoboken. S. 114-133.

BARATTA R., SOLOMONOW M., ZHOU BH., LETSON D., CHUINARD R., D'AMBROSIA R. (1988): Muscular coactivation: the role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sports Med* 16 (2). S 113–122.

BARTOLOZZI C, CARAMELLA D, ZAMPA V, DAL POZZO G, TINACCI E, CALDUCCI F (1991): The incidence of disk changes in volleyball players. The magnetic resonance findings. *Radiol Med (Torino)* 82, S. 757-760.

BAUR, J. (1987): Über die Bedeutung sensibler Phasen für das Kinder- und Jugendtraining. *Leistungssport* 17 (4), 9-14.

BAUR, J., BÖS, K., SINGER, R. (1994): Motorische Entwicklung ein Handbuch. Hofmann, Schorndorf.

BEGOV F. (1981): Volleyball. In: Gruppe, O. (Hrsg.), Sport: Theorie in der gymnasialen Oberstufe; Arbeitsmaterialien für den Sportunterricht. Bd. Sportartspezifische Beiträge Teil 2. Schorndorf: Hofmann Verlag, S. 239-281.

BERSCHIN, G. (1999): Das bewegungsbedingte Schädigungspotential bei der Pathogenese von Supinations-Inversions Traumen des oberen Sprunggelenks. Görisch & Weiherhäuser, Marburg.

BERSCHIN, G. (2010): Bewegungsqualität durch aktive Haltung als Weg zur Prävention von Haltungsschwächen im Schulsport. In: Betz, M. & Hottenrott, K. (Hrsg.), Training und Gesundheit bei Kindern und Jugendlichen. Schriftenreihe der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft. Czwalina, Hamburg. S. 171-178.

BERSCHIN G. (2011): Zur Bedeutung der Körperhaltung für Belastbarkeit, Trainierbarkeit und Bewegungsökonomie. Habilitationsschrift, Philipps-Universität Marburg.

BERSCHIN, G. & SOMMER, HM. (1999): Neue Gesichtspunkte motorischer Kontrolle und muskuläre Ermüdung. *Deutsche Zeitschrift Sportmedizin*, 50, S. 10.

BERSCHIN G. & SOMMER HM. (2004): Vibrationskrafttraining und Gelenkstabilität: EMG-Untersuchungen zur Wirkung von Vibrationsfrequenz und Körperhaltung auf Muskelaktivierung und -koaktivierung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 55. S. 152-156.

BERSCHIN, G. & SOMMER, HM. (2007A): Abdominometrie – ein neues Verfahren zur funktionellen Testung der Bauchmuskulatur. *Leistungssport* (4). S. 39-41.

BERSCHIN, G. & SOMMER, HM. (2007B): Bauchmuskeln verlässlich testen. Abdominometrie in der Funktionsdiagnostik der Bauchmuskulatur. *Zeitschrift für Physiotherapeuten* 59, (10). S. 1037-1041.

BERSCHIN, G./ FISCHER, H. & SOMMER HM. (2007): Zur Bedeutung von Haltungsschwächen und –schäden im Schulsport. Eine Inhaltsanalyse von Lehrplänen für das Gymnasium. *Sportunterricht* 56, (7). S. 201-203.

BERTHOLD, F. & THIERBACH, P. (1981): Zur Belastbarkeit des Halte- und Bewegungsapparates aus sportmedizinischer Sicht. *Medizin und Sport* 21. S. 165-171.

BOBBERT MF., VAN INGEN SCHENAU GJ (1988): Coordination in vertical jumping. *J Biomech* 21(3):249–262 Erratum in: *J Biomech* 21(9). S.78.

BOUTELLIER U. (2011): Sport- und Arbeitsphysiologie. In: Schmidt R., Lang F., Heckmann M. (Hrsg.) Physiologie des Menschen. Springer Verlag, Heidelberg. S. 854-876.

BOUTELLIER U. & ULMER HV. (2007) : Sport- und Leistungsphysiologie. In: Schmidt, R.-F. & Lang, F. (Hrsg.), Physiologie des Menschen. Heidelberg: Springer Verlag, S. 934-948.

BÜTTNER-JANZ, K./SCHILLER, B. (1983). Ursachen von akuten Kapselbandverletzungen der Sprunggelenke bei sportlichen Bewegungsabläufen. *Medizin und Sport*, 23. S. 25-26.

BRAUMANN KM. (2010): Effekte körperlichen Trainings auf den Organismus. In KM. Braumann & N. Stiller (Hrsg.) Bewegungstherapie bei internistischen Erkrankungen. Berlin, Springer. S. 14- 22.

BRINER WW, KACMAR L (1997): Common injuries in volleyball: mechanisms of injury, prevention and rehabilitation. *Sports Med* 24 (1). S. 65-71.

BRUHN S. (2001): Neurophysiologische Grundlagen der Propriozeption und Sensomotorik [Sonderheft]. *Medizinisch- Orthopädische Technik*. S. 66-71.

BRUHN, S. (2003): Sensormotorisches Training und Bewegungskoordination. Habilitationsschrift, Universität Freiburg. S. 22-51.

BRUHN S. (2006): Sensomotorisches Training und Krafttraining. Konsequenzen für das rehabilitative Krafttraining. 7. Gemeinsames Symposium der dvs-Sektionen Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft im Tagungs- und Kongresszentrum Bad Sassendorf. Schwerpunktthema: Prävention und Rehabilitation. Vom 16.- 18.2.2006. Eingereichter Abstract. Zugriff am 18.3.2008 unter <http://www.badsassendorf.de/generator.aspx/property=Data/id=101932/AK02-5-Bruhn+Sven.pdf>

BRUHN S./ KULLMANN N. & GOLLHOFER A. (2004): The effects of Sensorimotor Training and an Strength Training on Postural Stabilisation, Maximum Isometric Contraction and Jump Performance. *Int. Journal of Sports Medicin* (25). S. 56-60.

BRÜGGER A. (1980): Die Erkrankungen des Bewegungsapparats und seines Nervensystems. Stuttgart 1980.

BRÜGGER A. (1996): Gesunde Haltung und Bewegung im Alltag. Brügger Verlag, Zürich.

CASTER BL. (1998): Landing strategy variations: effects of skill level, task demands and movement type. In Riehle, H.J. & Vieten, M.M. (Eds.), *Book of Abstracts XVIth International Symposium on Biomechanics in Sports I*. Konstanz: UVK. S. 70-73.

CHOLEWICKI J., PANJABI MM., KHACHATRYAN A. (1997): Stabilizing function of trunk flexor-extensor muscles around a neutral spine posture. *Spine* 22. S. 2207-2212.

CHRISTMANN E. (1987): Konditionelle Fähigkeiten. In: Christmann, E./Fago, K./DVV (Hrsg.), *Volleyball Handbuch*. Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag, S. 38-46.

CHRISTMANN E. (1987A): Belastung und Leistung. In: Christmann, E./Fago, K./DVV (Hrsg.), *Volleyball Handbuch*. Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag, S. 159-187.

CHRISTMANN E. & KRISPIN G. (1987): Technik des Volleyballspiels. In: Christmann, E./Fago, K./DVV (Hrsg.), *Volleyball Handbuch*. Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag, S. 331-380.

COLEMAN S. (2008): A 3D Kinematic Analysis of the Volleyball Jump Serve. Onlinequelle: http://www.coachesinfo.com/index.php?option=com_content&view=article&id=375:3dkinematic-article&catid=103:volleyball-generalarticles&Itemid=197. Zugriff am 26.10.2010.

COLEMAN SG., BENHAM AS., NORTHCOTT SR. (1993): A three-dimensional cinematographical analysis of the volleyball spike. *Journal of Sport Sciences* 11, 4. S. 295-302.

COTTA H. & SOMMER HM. (1986): Die Belastbarkeit und Trainierbarkeit der Haltungs- und Bewegungsorgane in den verschiedenen Alters- und Entwicklungsstufen. In: Prokop, L. (Hrsg.): *Kinder-Sportmedizin*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart - New York, 1986. S. 5-9.

DALICHAU S., SCHEELE K. (2002): Die thorakolumbale Wirbelsäulenform männlicher Leistungsvolleyballspieler. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 53, (1). S. 12-16.

DE MARÈS H. (2003): *Sportphysiologie*. Köln: Sport und Buch Strauß

DENOTH J. & STACOFF A. (1991): Belastung und Beanspruchung der Muskulatur. Einige Überlegungen aus mechanischer Sicht. *Sportverl. Sportschad.* 5. S. 17-21.

DEVITA, P., & SKELLY, W.A. (1992): Effect of loading stiffness on joint kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24 (1). S. 108-115.

DIESSNER M., METHNER S. & WITTEKOPF G. (1985): Darstellung ausgewählter Untersuchungsergebnisse zur Landetechnik bei sportartspezifischen Sprüngen im Volleyball. *Wissenschaftliche Zeitschrift der deutschen Hochschule für Körperkultur Leipzig*, 26 (1). S. 64-69.

DSB (1989): Kommission „Gesundheit“ des Bundesausschusses für Wissenschaft, Bildung und Gesundheit des Deutschen Sportbundes: Belastbarkeit und Trainierbarkeit im Kindesalter. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (3) 40. S. 110-115.

DUFEK J.S. & BATES B.T. (1990): The evaluation and prediction of impact forces during landing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22 (2). S. 370-377.

EHLENZ H./GROSSER M./ZIMMERMANN E. (2003): *Krafttraining. Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme*. Wien/Zürich/München: BVL Sportwissen, S. 10-72.

- ELLENBERGER S. (2008): Untersuchungen zur Leistungssteigerung im Volleyball durch ein spezielles Kraft- und Haltungstraining. Unveröffentlichte Examensarbeit, Philipps- Universität Marburg.
- ENGELHARDT M. & J. (1996): Neuromuskuläre Dysbalance im Sport. *Sportorthopädie- Sporttraumatologie* 12, (4). S. 245-251.
- ENOKA RM. (2002): Neuromechanics of human movement. Human kinetics, 3rd edn. Champaign, IL. S. 463.
- FERETTI A., PUDDU, G., MARIANI P.O. & NERI M. (1984): Jumper's knee: An epidemiological study of volleyball players. *Physical Sportsmedicine*, 12. S. 97-106.
- FEIRI F., LICHTENAUER S. & MALLICK M. (2007): Der Punkt. Volleyballausbildungskonzept für Baden-Württemberg.
- FERRIS DP, BOHRA ZA, LUKOS JR, KINNAIRD CR (2006): Neuromechanical adaptation to hopping with an elastic ankle-foot orthosis. *J Appl Physiol* 100. S.163–170.
- FIEDLER M./SCHEIDEREIT D./BAACKE H./SCHREITER K. (1975): Volleyball. Berlin: Sportverlag, S. 125-141.
- FICKLSCHERER A. (2008): Basics Orthopädie und Traumatologie. Urban und Fischer Verlag, München.
- FISCHER H. & SOMMER HM. (2006): Skript zum Kraft- und Haltungstraining. Institut für Sportwissenschaft Universität Marburg.
- FISCHER H. (2010): Konzeption und Evaluation eines sensomotorischen Kurskonzepts zur Prävention und Rehabilitation von Haltungsschwächen und -schäden. Dissertation, Philipps-Universität Marburg.
- FUNG Y.C. (1981): Biomechanics, mechanical properties of living tissue. Springer, New York; Heidelberg; Berlin.

FUKASHIRO S., KOMI PV., JÄRVINEN M., MIYASHITA M. (1995): In vivo achilles tendon loading during jumping in humans. *Eur J Appl Physiol* 71. S.453-458.

FÖRSTER M. (2006): Stabilisationsprogramm. Nachwuchs-Nationalteams Frauen. Hrsg.: Swiss-Volley, Bern. Zugriff am 26.12.2007 unter http://www.volleyball.ch/uploads/media/Stabi_JNM_de_klein.pdf

FÖRSTER M. (2007): Stabilisationsprogramm (Anhang). Nachwuchs-Nationalteams Frauen. Hrsg.: SwissVolley, Bern. Zugriff am 26.12.2007 unter http://www.volleyball.ch/uploads/media/Stabi_JNM_Anhang_de.pdf

FREIWALD J. & ENGELHARDT M. (1996): Neuromuskuläre Dysbalance in Medizin und Sport. Ursachen-Analysen-Strategien. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 47, (3). S. 99-106.

FREIWALD J. & ENGELHARDT M. (1999): Aspekte der Trainings- und Bewegungslehre neuromuskulärer Dysbalancen – Teil 1 & 2. *Gesundheitssport und Sporttherapie* 15, (1). S. 5-12, (2) S. 46-50.

FREIWALD J., BREXENDORF B., PIEPER S. ET AL. (2008): Leistungs- und Funktionsdiagnostik im Hochleistungsfußball. *Sportorthopädie Sporttraumatologie* 24. S. 20-30.

FRIEDRICH E. (1982): Bemerkungen zum Kinderleistungssport. *Beiheft Leistungssport*, 28, S.6.

FRÖHNER B., RAADE K. & DÖRING F. (1976): Volleyball. Berlin: Sportverlag.

FRÖHNER G. (1990): Belastbarkeit, Belastbarkeitsstörungen und ihre Prävention im sportlichen Ausbildungsprozess von Turnerinnen und Turnern im Kindes- und Jugendalter. Diss. B., Universität Leipzig 1990.

FRÖHNER G. (1993): Die Belastbarkeit als zentrale Größe im Nachwuchstraining. Trainerbibliothek, Bd. 30. Philippka Verlag, Münster.

Fröhner G. (2000): Grenzen der Leistungsfähigkeit des Menschen aus der Sicht des Halte-, Stütz- und Bewegungssystems. *Leistungssport* (1). S. 18-23.

FRÖHNER G. (2007): Sportmedizinische Ratschläge für die Belastbarkeitssicherung im Nachwuchsleistungssport. Teil 1: Einleitung. *Leistungssport* (6). S. 31-33.

FRÖHNER G. (2008): Sportmedizinische Ratschläge für die Belastbarkeitssicherung im Nachwuchsleistungssport. Teil 3: Präventive trainingsmethodische Maßnahmen zur Sicherung und Verbesserung der Belastbarkeit trainierender Kinder und Jugendlicher. *Leistungssport* (2). S. 45-50.

FRÖHNER G. (2009A): Sportmedizinische Ratschläge für die Belastbarkeitssicherung im Nachwuchsleistungssport. Teil 8: Kraft-/ Schnellkraft-Sportarten. *Leistungssport* (2). S. 38-42.

FRÖHNER G. (2009B): Sportmedizinische Ratschläge für die Belastbarkeitssicherung im Nachwuchsleistungssport. Teil 9: Prävention in Sportsportarten – Rückschlagspiele. *Leistungssport* (3). S. 44-49.

FRÖHNER G. & WAGNER K. (2006A): Sicherung der Belastbarkeit im langfristigen Leistungsaufbau. *Z. Angew. Trainingswissenschaft* (2) 13, S. 107-126.

FRÖHNER G. & WAGNER K. (2006B): Die Entwicklung von Merkmalen der Belastbarkeit von Kindern und Jugendlichen unter Bedingungen der Ausbildung am Sportgymnasium (Prospektive 5- Jahres-Längsschnitt-Studie). Ergebnisbericht, Leipzig: IAT.

FRÖHNER G. & TRONICK W. (2007): Prophylaxe von Verletzungen und Fehlbelastungsfolgen durch Belastbarkeitssicherung im Nachwuchsleistungssport. *Leistungssport*, 37 (1). S. 11-17.

FRÖHNER G., HOBUSCH P. & WAGNER K. (1999): Prävention im langfristigen Leistungsaufbau. *Leistungssport*, 29 (6). S. 15-21.

FRÖHNER G., MAINKA E., SIMON CH., WAGNER K. (1999): Zustand der Belastbarkeit von Nachwuchssportlern der Sportsportarten und Schlussfolgerungen für die Prävention. *Z. Angew. Trainingswissenschaft*. S. 44-68.

FRÖHNER G. & MAINKA E. (1998): Belastbarkeit, Belastbarkeitsstörungen und ihre Prävention im sportlichen Ausbildungsprozeß von Turnerinnen und Turnern im Kindes- und Jugendalter. Leipzig.

FROST, H.M. (1964): Bone remodelling dynamics. The Henry Ford Hospital surgical monographs, Thomas.

GARRICK, J.G., WEBB, D.R. (1990): Sports injuries: diagnosis and management. Philadelphia, Saunders.

GIBBONS SGT., COMERFORD MJ. (2001): Strength versus stability. *Orthopaedic Division Review*. S. 21-27.

GIATIS G., KOLLIAS I., PANOUTSAKOPOULOS V., PAPAIAKOVOU G. (2004): Biomechanical differences in elite beach-volleyball players in vertical squat jump on rigid and sand surface. *Sports Biomech* 37. S. 145-158.

GOLLHOFFER, W., ALT, W., LOHRER, H. & GRUBER, M. (2000): Wertigkeit neuromuskulärer Funktionen und ihre Trainierbarkeit. *FdSnow*, (16). S. 16-22.

GOLLHOFFER A., BRUHN S. (2003): The biomechanics of jumping. In: Reeser JC., Bahr R. (Hrsg.) Handbook of Sports Medicine and Science: Volleyball. Blackwell Science Ltd., Massachusetts, Oxford, Berlin. S. 18-28.

GOLLHOFFER A., GRANACHER U., TAUBE W., MELNYK M., GRUBER M (2006): Bewegungskontrolle und Verletzungsprophylaxe. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 57 (11/12) S.266-270.

GRANATA KP., MARRAS WS. (2000): Cost-benefit of muscle cocontractin in protecting against spinal instability. *Spine* 25. S. 1398-1404.

GRAY J., TAUNTON JE., MCKENZIE DC., ET AL. (1985): A survey of injuries to the anterior cruciate ligament of the knee in female basketball players. *Int J Sports Med*. 6. S. 314-316.

GROSS T.S. & BUNCH R.P. (1989): Material moderation of plantar impact Stress. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21 (5). S. 619-624.

GROSSER, M., BRÜGGEMANN, P., ZINTL, E. (1986): Leistungssteigerung in Training und Wettkampf. BLV, München.

- GRUBER M. (2001): Neuromuskuläre Kontrolle des Kniegelenks vor und nach einem spezifischem sensomotorischen Training beim unverletzten Sportler. Dissertation, Universität Stuttgart. S. 12-60.
- GRUBER M & GOLLHOFER A. (2004): Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *European J. of Applied Physiology* (92). S. 98-105.
- GUISSARD N, DUCHATEAU J (2004): Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar-flexor muscles. *Muscle Nerve* 29(2). S. 248–255.
- HAGOOD S, SOLOMONOW M, BARATTA R, ZHOU BH, D'AMBROSIA R (1990): The effect of joint velocity on the contribution of the Antagonist musculature to knee stiffness and laxity. *Am J Sports Med.* 18 (2). S. 182-187.
- HAHN E. (1982): Begabung, Talent und Sport. *Leistungssport* 12.
- HANAVAN E.P. (1964): A Mathematical Model of the Human Body. Aerospace Medical Research, Ohio: Laboratories, Wright-Patterson Air Force Base.
- HECK H. & HENKE T. (1995): Zum Verletzungsgeschehen im Handball. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 46 (6). S. 320-323.
- HENNE S. (1999): Volleyball und Physiotherapie. Sprung- und Landetechnik. *Volleyballtraining* (1). S. 4-9.
- HELDMAIER G. (2004): Vergleichende Tierphysiologie. Springer, Berlin; Heidelberg; New York.
- HERMAN DC., WEINHOLD P., GUSKIEWICZ K., GARRET W., YU B., PADUA D. (2008): The Effects of Strength Training on the lower Extremity Biomechanics of Female Recreational Athletes During a Stop-Jump Task. *The American Journal of Sports Medicine*, Vol. 36, No.4. S. 733-740.
- HEUCHERT R. (1978): Zur Struktur des Sprunges und Entwicklung der Sprungkraft in den Sportspielen. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Deutschen Hochschule für Körperkultur*, 19 (2), 105-115.

- HIDES JA., GWENDOLEN AJ., RICHARDSON CA., HODGES O. (1997): Lokale Gelenkstabilisation: Spezifische Befunderhebung und Übungen bei lumbalen Rückenschmerzen. *Manuelle Therapie* 1. S. 8-15.
- HILDEBRANDT J., MÜLLER G., PFINGSTEN M. (2005): Lendenwirbelsäule. Ursachen, Diagnostik und Therapie von Rückenschmerzen. Urban & Fischer, München.
- HINZ S. (1999): Sprungfähigkeitstraining im Volleyball. *Volleyballtraining* 1, S. 10-14.
- HODGES P., VAN DEN HOORN W., DAWSON A., CHOLEWICKI J. (2009): Changes in the mechanical properties of trunk in low back pain may be associated with recurrence. *Journal of Biomechanics* 42. S. 61-65.
- HOFMAIER A. (2005): Propriozeptionsmessungen am Kniegelenk unter kritischer Betrachtung wissenschaftlicher, methodischer und messtechnischer Gesichtspunkte. Dissertation, Universität Münster, S. 13-32.
- IWOLOW, A.W. (1984): Volleyball – Biomechanik und Methodik. Sportverlag, Berlin.
- JANDA V. (1986): Muskelfunktionsdiagnostik. München: Urban & Fischer Verlag.
- JANDA V. (2000): Manuelle Muskelfunktionsdiagnostik. München: Urban & Fischer Verlag.
- JANHSEN L. (2001): Muskuläre Ansteuerung und Stabilisierung der unteren Extremitäten bei Landungen im Kunstturnen. Dissertation, Deutsche Sporthochschule Köln, 2001.
- JEROSCH J. (2007): Sensomotorik/ Propriozeption. In: Hassenpflug, J. (Hrsg.), Handbuch Sportorthopädie- traumatologie. Schorndorf: Hofmann Verlag, S. 38-69.
- JUNG R. (1984): Zur Bewegungsphysiologie bei Menschen: Fortbewegung, Zielsteuerung und Sportleistungen. III. Fortbewegung: Gang, Lauf und Sprung. In: Berger, W./Dietz, V./Hufschmidt, A./Jung, R./Mauritz, K.-H./Schmidtbleicher, D. (Hrsg.), Haltung und Bewegung beim Menschen. Berlin/Heidelberg/Tokio/New York: Springer Verlag, S. 11-47.

KÄLIN X., STACOFF A., DENOTH J. & STÜSSI E. (1988): Shockabsorption during landing after a jump. In de Groot, G., Hollander, A.P., Huijing, P.A. & van Ingen Schenau, G.J. (Eds.), *Biomechanics XI-B*. Amsterdam: Free University Press. S. 685-688.

KANNUS P. (1997): Etiology and pathophysiology of chronic tendon disorders in sports. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, (7). S. 78-85.

KASS A. (1995): Verletzungen – Vorbeugen tut Not. *Deutsche Volleyballzeitung* (4). S. 50-52.

KASS A. (2006): Volleyball. In: Engelhardt (Hrsg.) *Sportverletzungen*. Elsevier Verlag, München, S. 567-572.

KASS A. (2009): Volleyball. In: Engelhardt M, Hrsg. *Sportverletzungen*. Elsevier, München und Jena. S. 587–597.

KELLNER, K. & WIMMER, G. (2002): *Zwischen Spannung und Losgelassenheit. Besser Reiten mit Yoga*. Lüneburg: Cadmos Verlag.

KELLER A., JOHANSEN J., HELLESNES J., JENS I. (1999): Predictors of isokinetic back muscle strength in patients with low back pain. *Spine* 24. S. 275-280.

KENDALL HO. & KENDALL FP. (1985): *Muskel-Funktion und Tests*. 7. Aufl. Stuttgart: Fischer.

KIM S., NUSSBAUM MA., MADIGAN ML. (2008): Direct parameterization of postural stability during quiet upright stance: Effects of age and altered sensory conditions. *Journal of Biomechanics* 41. S. 406-411.

KITTEL S. (1998): <http://www.vg-die.schmetterlinge.de> (Zugriff: 17.1.2012, 10:27 Uhr)

KOBEL S. (2007): *Talent Coach Swiss Volley. Individuelle Laufbahnbetreuung von Top Talenten im Übergang vom Nachwuchs zur Elite*. Diplomprojekt im Rahmen der Trainerausbildung Swiss Olympic, Dübendorf.

KLEE A. (1995A): Muskuläre Dysbalance. Die Überprüfung einer Theorie. *Sportunterricht* (44), Heft 1. S. 13-23.

KLEE A. (1995B): Haltung, muskuläre Balance und Training: die metrische Erfassung der Haltung und des Funktionsstandes der posturalen Muskulatur - Möglichkeiten der Haltungsbeeinflussung durch funktionelle Dehn- und Kräftigungsübungen. In: Daus, R. /Fikus, M./Gebauer, G./Hackfort, D. (Hrsg.), Beiträge der Sportwissenschaft Band 20. Thun/Frankfurt am Main: Harri Deutsch Verlag, S. 24-72.

KLEE A. (2001): Krafttraining in der Schule unter besonderer Berücksichtigung der muskulären Balance und der Körperhaltung (Janda-Muskelfunktionstest) - Möglichkeiten zur unterrichtlichen Umsetzung. In: Im Sport lernen - mit Sport leben. Kongressband des 2. Kongresses des Deutschen Sportlehrerverbandes (DSLTV) vom 6. - 8. April 2000 in Augsburg, S. 495-500.

KLIMT F. (1984): Kinderunfälle bei Spiel und Sport. *Monatsschrift Kinderheilkunde* 132. S. 314-344.

KOLLATH E. (1996): Bewegungsanalyse in den Sportspielen. Kinematisch-dynamische Untersuchungen mit Empfehlungen für die Praxis. Köln: Sport & Buch Strauß.

KONRAD P./FREIWALD J./SCHULTE-FREI B. (2004): Wirbelsäule im Sport. Trainingskonzepte zur Kräftigung der Rumpfmuskulatur. *Sportorthopädie – Sporttraumatologie* (20), 1. S. 21-27.

KREMER B. (1988): Funktionalität von Gymnastikübungen zur Haltungs- und Bewegungsschulung, eine kritische Analyse traditioneller gymnastischer Übungsprogramme. Karlsruhe.

KREMER B. (1992): Sprungkrafttraining – aber wie? *Volleyballtraining* (5), 77-79 u. (6), 88-93 .

KREMER B., SOMMER HM., ROHRSCHEID C. (1990): Systemgymnastik. Der sichere und risikolose Weg zur sportlichen Leistung in der Schule und Verein. Königsbrunn: TV-Teaching.

KREMER B., SOMMER HM., ROHRSCHEID C. (1991): Alles im Lot. Der Praxisfilm zum Grundlagenvideo Systemgymnastik. Königsbrunn: TV-Teaching.

KUHLMANN C. (2010): Identifizierung leistungsrelevanter Parameter für die biomechanische Leistungsdiagnostik am Beispiel des Angriffsschlages im Volleyball. Dissertation, TU Chemnitz.

LAUFENS, G.; SEITZ, S. & STAENICKE, G. (1991): Vergleichend biologische Grundlagen zur angeborenen Lokomotion, insbesondere zum „reflektorischen Kriechen“ nach Vojta. In: *Krankengymnastik*, 43 (5). S. 448-456.

LIEBERMANN DG. & GODMAN D. (1991): Effects of visual guidance on the reduction of impacts during landings. *Ergonomics*, 34 (11). S. 1399-1406.

LINDEL K. (2006): Grundlagen der Muskeldehnung. In: Kloster, B. /van den Berg, F. / Wolf, U. (Hrsg.), Muskeldehnung. Buchreihe: Physiotherapie Basics. Heidelberg: Springer Verlag. S. 1-34.

LOHRER H/BRUHN S./GRUBER M./ALT A./GOLLHOFER A. (2000): Sensomotorische Trainierbarkeit von knie- und sprunggelenkstabilisierenden Muskeln. In: Jerosch, J. (Hrsg.), Sensomotorik. Aktuelle Aspekte zur Sensomotorik und Propriozeption in Forschung, Klinik und Praxis. Tagungsband des Kongresses Sensomotorik 2000 vom 08.-09.09.2000 in Neuss. Essen: Pro Sympos Eigenverlag. S. 215-227.

LUDWIG O., MAZET D., SCHMITT E. (2003): Haltungsschwächen bei Kindern und Jugendlichen. *Gesundheitssport und Sporttherapie* 19. S. 1-7.

LUDWIG O. & SCHMITT E. (2006): Neurokybernetik der Körperhaltung. Haltung und Bewegung, Sonderdruck, 26, 01/2006, S. 5-14. (vorliegend S. 1-11)

LUOTO S., SIMO T., HEIKKI H., AALTO H., PYYKKÖ I., ALARANTA H. (1998): One-footed and externally disturbed two-footed postural control in patients with chronic low back pain and healthy control subjects: a controlled study with follow up. *Spine* 23. S. 2081-2089.

MARTIN D. (1982): Die Leistungsfähigkeit und Entwicklung der Kinder als Grundlage für den sportlichen Leistungsaufbau. *Beiheft Leistungssport*, 28. S. 47.

MARTIN D. & NICOLAUS J. (1998): Leistungsvoraussetzungen und sportliche Leistungsfähigkeit von Kindern. Kinder und Jugendliche im Leistungssport. Beiträge des internationalen, interdisziplinären Symposiums „KinderLeistungen“ vom 7. bis 10. November 1996 in Saarbrücken. Schriftreihe des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, Bd. 95. Hofmann Verlag, Schorndorf. S. 347-363.

- MASCI I., VANNOZZI G., GIZZI L., BELLOTTI P., FELICI F. (2010): Neuromechanical evidence of improved neuromuscular control around knee joint in volleyball players. *Eur J Appl Physiol* 108. S. 443-450.
- MCNITT-GRAY JL. (1993): Kinetics of the lower extremities during drop landings from three different heights. *Journal of Biomechanics*, 26 (9). S. 1017-1046.
- MEIER, H. (2005): Neue Aspekte der Rumpfstabilisation im Sport. *Leistungssport* 35 (2). S. 35-37.
- MEIER, H. (2006): Neue Aspekte der Gelenkstabilisation – das Sling-Training. *Leistungssport*, 36 (2). S. 19-23.
- MEIER H. (2007): Ein starker Rumpf *Volleyball Magazin* 2007 (4). S. 22-26.
- MEIER, H. (2007B): Wenn die Schulter schmerzt – Stabilisation von Brustwirbelsäule und Schulter mit dem Sling-Trainer. *Leistungssport*, 37 (1). S. 18-21.
- MELLEROWICZ H., WILKE S. (2008): Orthopädische Aspekte beim Sport von Kindern. *Monatsschr Kinderheilkd* (1) 156, S. 23-32.
- MEUSEL A. (2006): Stemmschritt (Varianten). Onlinequelle: http://www.volleyballtraining.de/technikanalyse_volleyball.htm. Zugriff am 13. März 2007.
- MEYNERS E. (1997): Zur Wiederentdeckung des Körpers. Die Alexander-Technik mit exemplarischen Beispielen. *Turnen und Sport* 6. S. 7-10.
- MILTNER O., SIEBERT C., TSCHAEPE R., MAUS U., KIEFFER O. (2010): Volleyballspezifische Rumpfmuskelkraft bei professionellen und nicht professionellen Volleyballspielern. *Z Orthop Unfall* 148. S. 204–209.
- Miltner O., Wirtz DC., Siebert CH. (2001): Die Kräftigung der Lumbalextensoren (MedX) – die Therapie bei chronischen Rückenschmerz – eine Übersicht und Metaanalyse. *Z Orthop* 139. S. 287–293.

MOHAMED AHMED AK. (2006): Entwurf eines Expertensystems für die spezielle körperliche Vorbereitungsplanung von Volleyballjunioren. Dissertation, Universität Gießen. S. 46-49.

MORITANI T. (1994): Die zeitliche Abfolge der Trainingsanpassungen im Verlaufe eines Krafttrainings. In: P. Komi (Hrsg.) Kraft und Schnellkraft im Sport. Köln: Deutscher Sportärzterverlag.

MÜLLER G. (1997): Trainingstherapie im Rahmen der Manuellen Medizin. *Manuelle Medizin*, 35 (4). S. 210-219.

MÜLLER S. (2008): Die belastungsspezifische neuromuskuläre Antwort bei Athleten mit Tendinopathie der Achilles- oder Patellarsehne. Dissertation, Universität Stuttgart 2007, S. 14-22.

NADLER SF., MALANGA GA., BARTOLI LA., FEINBERG JH., PRYBICIEN M., DEPRINA M. (2002): Hip muscle imbalance and low back pain in athletes: influence of core strengthening. *Medicine an Science in Sports and Exercise* 34. S. 9-16.

NEUMANN G. & NEHRER S. (2006): Alters- und geschlechtsspezifische Aspekte der Sportmedizin. In: Engelhardt M. (Hrsg.) Sportverletzungen. Elsevier Verlag.

NIGG B.M. (1980): Biomechanische Überlegungen zur Belastung des Bewegungsapparates. In Cotta, H., Krah, H. & Steinbrück, K. (Hrsg.), Die Belastungstoleranz des Bewegungsapparates. Stuttgart: Thieme. S. 44-54.

NIGG B.M. (1988): The assessment of loads acting on the locomotor system in running and other sport activities. *Seminars in Orthopaedics*, 3 (4). S. 197-206.

NOYES FR., BARBER-WESTIN SD., FLECKENSTEIN C., WALSH C., WEST J. (2005): The Drop-Jump Screening Test: Difference in Lower Limb Control By Gender and Effect of Neuromuscular Training in Female Athletes. *Am J Sports Med* 33 No. 2. S. 197-207.

OLTMANN K. (2007): Alle Kräfte ins Gleichgewicht! Sensomotorisches Training für Leistungsentwicklung und Prävention. Münster: Philippka.

O`SULLIVAN PB., GRAHAMSLAW KM., KENDELL MM., LAPENSKIE SC., MÖLLER NE., RICHARDS KV. (2002): The effect of different standing and sitting positions on trunk muscle activity in a pain-free population. *Spine*, 27. S. 1238-1244.

O`SULLIVAN PB., BURNETT A., FLOYD AN., GADSDON K., LOGIUDICE J., MILLER D., QUIRKE H. (2003): Lumbar repositioning deficit in a specific low back pain population. *Spine* 28. S. 1074-1079.

PANDY MG., ZAJAC FE. (1991): Optimal muscular coordination strategies for jumping. *J Bio-mech* 24. S. 1-10.

PANJABI MM. (1992A): The stabilizing system of the spine. Part I. Function, Dysfunction, Adaption, and enhancement. *Journal of spinal disorders* 5. S. 383-388.

PANJABI MM. (1992B): The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. *Journal of spinal disorders* 5. S. 389-397.

PANZER S./NAUNDORF F./STREICHER H./KRUG J. (2007): Effekte eines koordinativen Trainingsprogramms auf die Haltungskontrolle: Eine Untersuchung mit Berufsschorschängern. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* ,58, (4). S. 112-115.

PAPAGEORGIU A. & HUMMERBRUM B. (1987): Sprunghandlungen im Volleyball. In Danne-mann F. (Hrsg.) Training und Methodik des Volleyballspiels. Hamburg: Czwalina.

PAPAGEORGIO A., SPITZLEY W. (1984): Volleyball. Vom Mini-Volleyballspieler zum Universalisten. Praxis Sport, Bd.8/9. Bartels und Wernitz Verlag, Berlin.

PAPAGEORGIU A., SPITZLEY W. (2000): Handbuch für Leistungsvolleyball – Ausbildung zum Spezialisten. Aachen: Meyer & Meyer.

PAPAGEORGIO A., SPITZLEY W. (2005): Handbuch für Volleyball – Grundlagen. Aachen: Meyer & Meyer Verlag, S. 7-15.

PAPAGEORGIU A. & TIMMER M. (1989): Sprung- und Laufhandlungen im Volleyball. In: Dan-nenmann, F. (Hrsg.), Volleyball analysieren. 15. Symposium des Deutschen Volleyball Verban-des 1989. Hamburg: Czwalina Verlag. S. 190-214.

PEIKENKAMP, K. (2007): Typische Verletzungen im Sport, *Orthopädie Technik*, 5. S. 326-334.

PIPER A. (2005): Korrelation zwischen lumbalen Rückenschmerzen und dem glutaeus maximus. *Manuelle Therapie* 9. S. 65-74.

PROKOP, L. (1981). Verletzungen und Schäden beim Volleyball. *Österreichisches Journal für Sportmedizin*, 11 (2). S. 7-9.

QUADE K. (1991): Biomechanical explorations of block and consequences for training and competition. In Dannenmann, F. (Ed.), Defence in volleyball. CEV Coaches Symposium. Berlin. S. 88-111.

REESER JC. (2003A): Volleyball injury epidemiologie. In: Reeser JC., Bahr R. (Hrsg.) Handbook of Sports Medicine and Science: Volleyball. Blackwell Science Ltd., Massachussets, Oxford, Berlin. S. 81-86.

REESER JC. (2003B): Other volleyball related injuries. In: Reeser JC., Bahr R. (Hrsg.) Handbook of Sports Medicine and Science: Volleyball. Blackwell Science Ltd., Massachussets, Oxford, Berlin. S. 141-149.

REESER JC. (2003C): The young volleyball athlete. In: Reeser JC., Bahr R. (Hrsg.) Handbook of Sports Medicine and Science: Volleyball. Blackwell Science Ltd., Massachussets, Oxford, Berlin. S. 153-163.

RICHARDS D.P., AJEMIAN S.V., WILEY J.P. & ZERNICKE R.F. (1996): Knee joint dynamics predict patellar tendinitis in elite volleyball players. *The American Journal of Sports Medicine*, 24 (6). S. 676-683.

RUEDL G. (2007): Stabilisationstraining. Arbeit für das BafI Innsbruck. Zugriff am 12.3.2008 unter [http://www.shop2001.net/images/bmbwkbafIinn/Pdf/Abt3/2008/Skitouren/STABILISATIONSTRaining %20rueidl%2007.pdf](http://www.shop2001.net/images/bmbwkbafIinn/Pdf/Abt3/2008/Skitouren/STABILISATIONSTRaining%20rueidl%2007.pdf)

RUSCH H. & WEINECK J. (2007): Sportförderunterricht. Hofmann Verlag, Schorndorf.

RÖSSLER H.& RÜTHER W. (2005): Orthopädie und Unfallchirurgie (19. Aufl.). München: Elsevier, Urban & Fischer. S. 265.

ROSTOCK J. (2003): Haltung und Bewegung im Sport. Chemnitz: Books on Demand GmbH, S. 130-145.

SCHAFLE, MD., REQUA, RK., PATTON, WI. & GARRICK, JG. (1990): Injuries in the 1987 national amateur volleyball tournament. *American Journal of Sports Medicine*, 18 (6). S. 624-630.

SCHLICHT W. & SCHWENKMEZGER P. (1995): Gesundheitsverhalten und Bewegung. Hoffmann Verlag, Schorndorf.

SCHMIDTBLEICHER D. (1983): Welche Absprunghöhen bei Tiefsprüngen? *Die Lehre der Leichtathletik*, 34 (2). S. 47-49.

SCHMITT E. & LUDWIG O. (1999): Haltung und Propriozeption. Zugriff am 23.1.2008 unter <http://www.unisaarland.de/fak8/bi13wn/kidcheck/uebungen/proprio1.html>

SCHOLL H. (1986): Kondition und Körperbau jugendlicher Spieler. Ein leistungsdiagnostischer Vergleich von Volleyballern, Basketballern, Fußballern und Handballern in der B-Jugend. Ahrensburg.

SCHRÖDER J., FÖRSTER J., MATTES K. (2008): Eine pragmatische Variante des Segmentalen Stabilisationstrainings (SST) für die Sportpraxis vor dem Hintergrund auffälliger Befunde der Wirbelsäulenform am Beispiel Volleyball. *Leistungssport* (4). S. 45-51.

SIEBER, E., HÜNIG, R. & SCHNEIDER, P.G. (1989): Dysbalancen der Oberschenkelmuskulatur als Ursachen von Kniebeschwerden bei Hochleistungs-Volleyballern. In Böning, D., Sport – Rettung oder Risiko für die Gesundheit? (31. Deutscher Sportärztekongress). Köln: Deutscher Ärzte Verlag. S. 915-917.

SOMMER HM. (1983): Disposition zur Sprunggelenksverletzung beim Basketballspiel. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 34, (8). S. 254-255.

SOMMER HM. (1984A): Belastungs- und Überbelastungsmöglichkeiten des jugendlichen Haltings- und Bewegungsapparates im Hochleistungssport. Talentsuche und Talentförderung. *Beiträge zur Theorie und Praxis des Tennisunterrichts und Trainings*, 8. S. 156-165.

SOMMER HM. (1984B): Muskuläre Ungleichgewichte im Bereich der unteren Extremitäten als Ursache für Leistungsverlust und Überbelastung. In: Jeschke, D. (Hrsg.) Stellenwert der Sportmedizin in Medizin und Sportwissenschaft. Springer, Stuttgart. S. 440-444.

SOMMER HM. (1984C): Muskuläre Ungleichgewichte im Bereich der unteren Extremitäten als Ursache für Überbelastungen des oberen und unteren Sprunggelenkes. In: Hackenbroch, M.H., Refior, H.J., Jäger, M. & Plitz, W. (Hrsg.) Funktionelle Anatomie und Pathomechanik des Sprunggelenkes. Thieme, Stuttgart. S. 63-67.

SOMMER HM. (1987): The biomechanical and metabolic effects of a running regime on the Achilles tendon in the rat. *International Orthopaedics*, 11. S. 17-75.

SOMMER HM. (1988): Patellar chondropathy and apicitis, and muscle imbalances of lower extremities in competitive sports. *Sports medicine*, 15, (5). S. 386-394.

SOMMER HM. (2001): Wirbelsäulenhaltung und Senomotorik. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 52. S. 47.

SOMMER HM. (2010): Zur sportlichen Belastbarkeit der Haltungs- und Bewegungsorgane im Kindes- und Jugendalter. In: Betz M. & Hottenrott K. (Hrsg.) Training und Gesundheit bei Kindern und Jugendlichen. Schriftenreihe der deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft. Czwalina, Hamburg. S. 30-45.

SOMMER HM & BERSCHIN G. (1999): New insights in motor control of foot and ankle trauma. *International Journal of Sportsmedicine*, 20 (9). S. 6.

SOMMER HM. & HOTTENROTT K. (1998): Schnelle Beine allein genügen nicht [Elektronische Version]. *sports Care - Zeitschrift für den informierten Sportler* (3). S.10.

SOMMER HM., ROHSCHIEDT C. (1988): Zentrale Fehlsteuerung als Ursache von Bewegungsstörungen im Leistungssport. *Sportverletzungen und Sportschaden* (1) 2/1988, S. 10-14.

SOMMER HM., v. ROHRSCHEIDT C., ARZA D. (1987): Leistungssteigerung und Prophylaxe von Überbelastungen und Verletzungen des Haltungs- und Bewegungsapparates im Sport durch „Alternative“ Gymnastik. *Lehre der Leichtathletik* 38-39, *Zeitschriftensammlung*. S. 1763-1766.

- SONNENBICHLER R. (1999): Strukturanalyse Angriffstechniken, Teil 1. *Volleyballtraining* 23, 6. S. 86-87.
- SPOMEDIAL (2003). URL: http://vmrz0100.vm.ruhr-uni-bochum.de/spomedial/content/e866/e2442/e12729/e12938/e12949/e13115/index_ger.html [Stand 2012-05-23]
- STACOFF A, KAELEN X, STUESSI E (1987): Belastungen im Volleyball bei der Landung nach dem Block. *Dtsch Z Sportmed* 38. S. 458-464.
- STEIN G. & RAUSCHER M. (1989): Biomechanische Erkenntnisse zur Reduzierung von Landebelastungen im Volleyball. *Wissenschaftliche Zeitschrift der deutschen Hochschule für Körperkultur Leipzig*, 30 (2). S. 86-95.
- STEINBRÜCK, K. (1999): Epidemiologie von Sportverletzungen – 25 Jahres Analyse einer sportorthopädisch-traumatologischen Ambulanz, *Sportverletzung Sportschaden*, 13. S. 38-52.
- STEINHÖFER D. (2003): Grundlagen des Athletiktrainings. Theorie und Praxis zur Kondition, Koordination und Trainingssteuerung im Sportspiel. Münster: Philippka Sportverlag, S.80-90.
- STEVENS C. (1995): Forschung über die Wirksamkeit der F.M Alexander-Technik. Auszug aus: *Towards a physiology of the alexander Technique*. Stat Books, London.
- STOBOY H. (1980): Elektrophysiologie (Kap. 5) und reflektorische Kontrolle und Muskeltätigkeit (Kap. 7). In: *Orthopädie in Praxis und Klinik*. (Band 1). Stuttgart. Thieme.
- STOCKLIN A. (2004): Beckenboden – Schlüssel zur Stabilität. *Krankengymnastik – Zeitschrift für Physiotherapeuten* 56. S. 1188-1195.
- STREICHER H. (2005): Neue Ansätze in der Rückenschule? Effekte einer therapeutischen Rückenschule mit integrativen propriozeptiv-koordinativen Training. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 56. S. 100-105.
- SWISSVOLLEY (2005A): Thema 2: Rumpfstabilisation (2/2005). Hrsg.: SwissVolley, Bern. Zugriff am 26.12.2009 unter http://www.volleyball.ch/uploads/media/Praevention_02_dt.pdf

SWISSVOLLEY (2005B): Thema 4: Beinachsenstabilisierung – untere Extremität (4/2005). Hrsg.: SwissVolley, Bern. Zugriff am 26.12.2009 unter http://www.volleyball.ch/uploads/media/Praevention_04_dt.pdf

TILP M. (2004): Biomechanische Aspekte des Volleyballspiels – Sprung, Schlag und Ballflug. In: Zentgraf, K./Langofl, K.H. (Hrsg.), Volleyball – Europaweit 2003. Czwalina, Hamburg. S. 99-113.

TILLMAN MD., HAAS CJ., BRUNT D., BENNETT GR. (2004): Jumping and landing techniques in elite women's volleyball. *Journal of Sports Science and Medicine*, 3, 1. S. 30 -36.

TITTEL K. (1995): Funktionelle Anatomie des Gelenk-Muskel-Band-Apparates während dynamischer und statischer Bewegungsabläufe. *Gesundheitssport und Sporttherapie* (6). S. 5-8.

UEBLACKER P., GEBAUER M., ZIEGLER M., BRAUMANN KM., RUEGER JM. (2005): Verletzungen und Fehlbelastungsfolgen im Sport, *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* (48), 8. S. 927-938.

ULMER HV. (1985): Arbeitsphysiologie. In: Reichel G., Bolt HM., Hettinger Th., Selenka F., Ulmer HV., Ulmer WT. (Hrsg.): Grundlagen der Arbeitsmedizin. Kohlhammer, Stuttgart; Berlin; Köln; Mainz.

VAN DE VELDE R. (1995): Ursachen und Auswirkungen der muskulären Dysbalance auf Beweglichkeit und Kraft. *Gesundheitssport und Sporttherapie* (6). S. 24-27.

VAN DIEEN JH., SELEN LPJ., CHOLEWICKI J. (2003): Trunk muscle activation in low back pain patients, an analysis of the literature. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 13. S. 333-351.

VAN HUSEN M. (2005): Belastungen der unteren Extremität im Handball und Volleyball. Eine Untersuchung zur Landung nach Sprungwürfen und Schmetterschlägen. Dissertation, Universität Darmstadt.

VAN HUSEN M., PEIKENKAMP K., NICOL K. (1999): Bewegungsanalyse der Landung nach einem Volleyballschmetterschlag hinsichtlich äußerer und innerer Belastungsparameter. In: Nicol, K. & Peikenkamp, K. (Hrsg.), Apparative Biomechanik – Methodik und Anwendungen. 5.

Symposium der DVS-Sektion Biomechanik vom 11.-13.3.1999 in Münster. Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Bd. 115. Czwalina, Hamburg. S. 329-334.

VAN LAER L. (1984): Skeletttraumata im Wachstumsalter. *Hefte zur Unfall-Heilkunde*. S. 166.

VIOLETTA DR. (1995): Belastungen im Volleyball aus physiologischer Sicht. In Dannemann F. (Hrsg.) *Belastung im Volleyball*. (FIVB Trainer Symposium) Bremen. S. 39-51.

VLEEMING A. (2006): Bedeutung des Beckengürtels als Verbindung von Wirbelsäule und Beinen. Teil 2. *Manuelle Medizin* 10. S. 225-235.

VOIGT HF. (1986): Ausgewählte konditionelle Teilbereiche und ihr Zusammenhang mit der Spielleistung. In: Christmann, E./Letzelter, H. (Hrsg.): *Spielanalysen und Trainingsmaßnahmen im Volleyball*. Ahrensburg, S. 32-51.

VOIGT M., SIMONSEN EB., DYHRE-POULSEN P., KLAUSEN K. (1995): Mechanical and muscular factors influencing the performance in maximal vertical jumping after different prestretch loads. *J Biomech* 28(3). S. 293–307.

VOIGT HF. & DAHLINGER M. (2006): Unfallverhütung durch präventive Trainingsmaßnahmen. In: Henke T, Schulz D, Platen P (Hrsg.) *Sicherheit im Sport*. "Ein Leben mit Sport – aber sicher". Sportverlag Strauss, Köln. S. 401-411.

VOIGT HF. & RICHTER E. (1991): Betreuen, fördern, fordern. *Volleyballtraining im Kindes- und Jugendalter*. Münster: Philippka.

VOJTA V. (1981): Reflexbewegung – Ontogenese der Aufrichtungsmechanismen bis zur Erreichung der selbstständigen Fortbewegung. In: Vojta, V. (Hrsg.) *Die zentrale Bewegungsstörung im Säuglingsalter*, S. 138-174. Enke, Stuttgart.

WAGNER H., TILP M., VON DUVILLARD SP., MUELLER E. (2009): Kinematic Analysis of volleyball Spike Jump. *Int J Sports Med* 30 (7). S. 760-765.

WANG HK, COCHRANE T (2001A): A descriptive epidemiological study of shoulder injury in top level english male volleyball players. *Int J Sports Med* 22. S. 159-163.

WANG HK, COCHRANE T (2001B): Mobility impairment, muscle imbalance, muscle weakness, scapular asymmetry, shoulder injury in elite volleyball athletes. *J Sports Med Physical Fitness* 41. S. 403-410.

WATKINS J. (1997): Verletzungen und Überlastungsschäden im Volleyball. In Renström, P. (Hrsg.), Sportverletzungen und Überlastungsschäden. Prävention, Therapie, Rehabilitation. Köln Deutscher Ärzte Verlag. S. 310-322.

WEINECK J. (2000): Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kindes- und Jugendtrainings. Balingen: Spitta Verlag.

WEINECK J. (2009): Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kindes- und Jugendtrainings. Balingen: Spitta Verlag.

WEISHOFF P. (2002): Attacking. In D. Shondell & C. Reynaud (Hrsg.). Volleyball Coaching Bible. Champaign: Human Kinetics.

WEIST R. (2002): Der Einfluss des Rumpfstabilisierungsvermögens auf die Fußhaltung und Fußbelastung. Dissertation, Universität Marburg.

WERNER F. (2006): Auswirkungen differenzieller Ermüdungsprogramme auf ausgewählte Bewegungsparameter und die Muskelaktionspotenziale von Triceps surae und Quadriceps femoris. Dissertation, Universität Jena.

WIEMANN K. (2000): Effekte des Dehnens und die Behandlung muskulärer Dysbalancen. In: Sievers, M. (Hrsg.), Muskelkrafttraining, Bd. 1: Alter, Dehnung, Ernährung, Methodik. Kiel: Sievers Eigenverlag, S. 95-119.

WIEMANN K., KLEE A., STRATMANN M. (1999): Filamentäre Quellen der Muskelruhespannung und die Behandlung muskulärer Dysbalancen [Elektronische Version]. *Zeitschrift für Physiotherapeuten* (4). S. 628-640.

WILLIMCZIK, K., DAUGS, R. & OLIVIER, N. (1991A): Belastung und Beanspruchung als Einflussgrößen der Sportmotorik. In Olivier, N. & Daus, R. (Hrsg.) Sportliche Bewegung und Motorik unter Belastung. Czwalina, Clausthal-Zellerfeld. S. 6-28.

WILLIMCZIK, K., SAHRE, E., PACHUR, S. & WIELING, M. (1991B): Auswirkungen konditioneller Beanspruchung auf das Fertigniveau im Sport Basketball. In Daus, R., Mechling, H., Blischke, K. & Olivier, N. (Hrsg.), Sportmotorisches Lernen und Techniktraining Band 2. Schorndorf, Hofmann. S. 32-37.

WOO SLY., YOUNG E. (1991): Structure and function of tendon and ligaments. In: v. Mow C., Hayes WC. (Hg.): Basis Orthopaedic. Biomechanics. Raven Press, New York. S. 199-244.

WREDE A. VON, PFÖRRINGER W. (1998): Traumatologie beim Volleyball im Jugend- und Kindesalter. *Sportverl. Sportschad.* (12). S. 39-41

WÜLKER N. (2010): Orthopädie und Unfallchirurgie (2. Aufl.). Taschenlehrbuch. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag. S. 88-90.

WYDRA G. (2000): Zur Funktionalität der Funktionsgymnastik. *Gesundheitssport und Sporttherapie*, 16. S. 128-133.

ZHANG SN., BATES BT. & DUFEK JS. (2000): Contributions of lower extremity joints to energy dissipation during landings. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32 (4). S. 812-819.

ZIMMERMANN K. (1999): Muskelkrafttraining im Rahmen der Primärprävention. Standpunkt aus trainingswissenschaftlicher Sicht. *Gesundheit und Sporttherapie*, 15 (3). S. 81-85.

ZIMMERMANN K. (2000): Gesundheitsorientiertes Muskelkrafttraining. Schorndorf, Hofmann.

ZIPPRICH CH. (2005): Funktionelle Gymnastik, Kondition und Entspannung. Haltung - Haltungsschwäche/muskuläre Dysbalance. Leibniz Universität Hannover, Seminarunterlagen WS 05/06. Zugriffe am 16.3.2008 unter www.erz.uni-hannover.de/ifsw/daten/lit/paper/14/1/Paper%2020Haltung%2020Dysbalance

ZIV G. & LIDOR R. (2010): Vertical jump in female and male volleyball players: a review of observational and experimental studies. *Scand J Med Sci Sports* 20. S. 556-567.

Anhang

Anhang 1: Fragebogen

Fragebogen Leistungstest

Proband:

Datum:

- | | | | | | |
|------|---|---|-------|---|---|
| I) | Haben Sie in den letzten 24 Stunden intensiv Sport getrieben? | <input type="checkbox"/> nein
<input type="checkbox"/> ja
wenn ja, welchen | VI) | Nehmen Sie zur Zeit irgendwelche Präparate oder Medikamente? | <input type="checkbox"/> nein
<input type="checkbox"/> ja
wenn ja, welche |
| II) | Haben Sie schon einmal ein solches Kraft- und Halte-Training absolviert? | <input type="checkbox"/> ja
<input type="checkbox"/> nein | VII) | Denken Sie, dass die Tageszeit wesentlich für Ihr Leistungsvermögen verantwortlich ist? Beeinflusst Sie diese manchmal? | <input type="checkbox"/> nein
<input type="checkbox"/> ja
wenn ja, welche und warum |
| III) | Ist Ihr Energiebedarf heute schon ausreichend durch Nahrung gedeckt worden? | <input type="checkbox"/> ja
<input type="checkbox"/> nein | VIII) | Fühlen Sie sich heute fit? Geht es Ihnen gut? (zutreffendes bitte ankreuzen) | sehr gut – gut – naja – schlecht – sehr schlecht |
| IV) | Waren Sie in den letzten 6 Monaten verletzt? | <input type="checkbox"/> nein
<input type="checkbox"/> ja
wenn ja, was | IX) | Wie lange spielen Sie aktiv Volleyball? | |
| V) | Sind Sie in den letzten 6 Monaten wegen einer Verletzung behandelt worden? (OP, oder ähnliches) | <input type="checkbox"/> nein
<input type="checkbox"/> ja
wenn ja, weswegen | | | |

Anhang 2: Evaluationsbogen

EVALUATIONSBOGEN ZUR TRAININGSREIHE KRAFT- UND HALTEÜBUNGEN

Name:
Verein:
Datum:

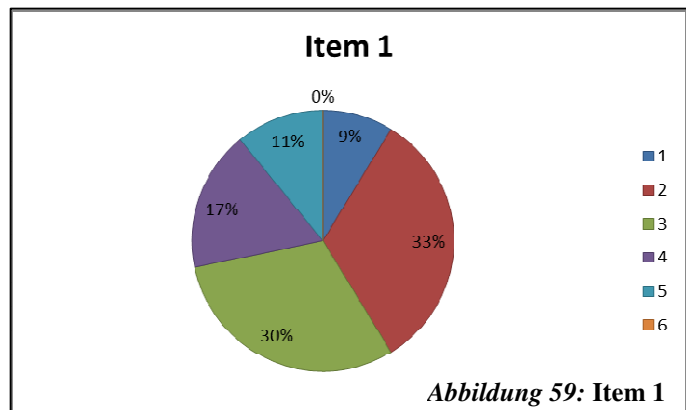
Die folgenden Fragen bitte gut durchlesen und nach folgenden Bewertungspunkten ankreuzen. Die Fragen sind mit Bewertungspunkten in einer Skala von 1-6 versehen (1 steht für sehr gut, 2 für gut, 3 für befriedigend, 4 für ausreichend, 5 für mangelhaft/schlecht, 6 für sehr schlecht). Jeweils bitte nur ein Kreuz pro Frage setzen. Bitte die Fragen wahrheitsgemäß beantworten, nichts beschönigen, sonst werden die Ergebnisse verfälscht. Für eure tatkräftige Unterstützung möchte ich mich hier nochmals bedanken;

1. Konntest du die Übungen regelmäßig durchführen?
(ja) 1 2 3 4 5 6 (nein)
2. Sind die Übungen dir gegenüber verständlich erklärt worden?
(ja) 1 2 3 4 5 6 (nein)
3. Findest du, dass die Übungen dein Leistungsvermögen gesteigert hat?
(enorm) 1 2 3 4 5 6 (kaum)
4. Kannst du, nun nach den Übungen, deinen Körper besser wahrnehmen und einzelne Regionen bewusst spüren?
(mehr) 1 2 3 4 5 6 (weniger)
5. Hast du die Übungen regelmäßig im Vereinstraining durchführen können?
(ja) 1 2 3 4 5 6 (nein)
6. Hastest du Schwierigkeiten mit den Übungen?
(ja) 1 2 3 4 5 6 (nein)
7. Wie schätzt du den Nutzen solcher Übungen für ein Volleyballtraining ein?
(hoch) 1 2 3 4 5 6 (gering)
8. Haben sich die Übungen auf dein Wohlbefinden und dein (Körper-) Haltung ausgewirkt?
(positiv) 1 2 3 4 5 6 (negativ)
9. Ist für dich der Zeitpunkt der Übungen sinnvoll gewählt worden? Sollte man die Übungen zu Beginn eines Trainings anführen?
(beginn) 1 2 3 4 5 6 (ende)
10. Hast du die Übungen immer mit maximaler Intensität ausgeführt?
(max) 1 2 3 4 5 6 (min)
11. Hastest du immer ausreichend Zeit für die Übungen?
(ja) 1 2 3 4 5 6 (nein)
12. Hast du die Übungen noch zusätzlich zu der geforderten Anzahl absolviert?
nein
ja, wie oft.....
13. Meinst du, dass sich durch das Training und die Übungen deine Sprunghöhe gesteigert hat?
(ja) 1 2 3 4 5 6 (nein)

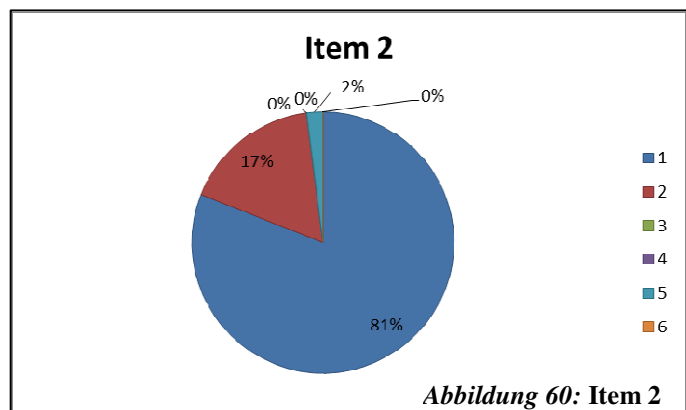
Anhang 3: Auswertung Evaluationsbogen (grafisch)

Die Antworten sind nach einer Skalierung 1-6 im Schulnotensystem dargestellt.

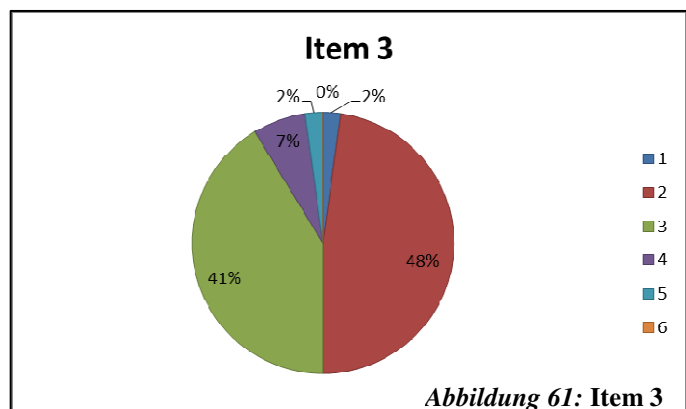
1. Konntest du die Übungen regelmäßig durchführen?



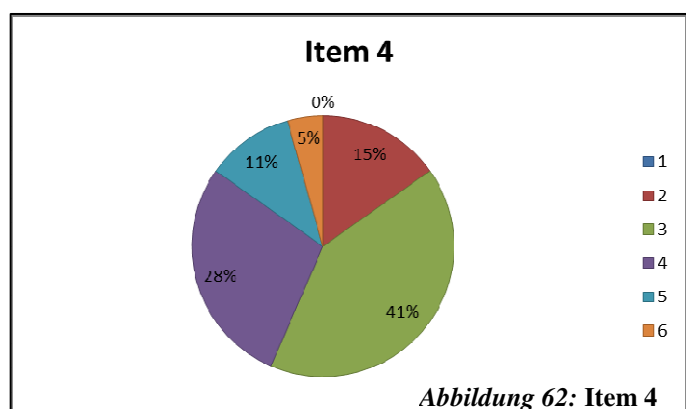
2. Sind die Übungen dir gegenüber verständlich erklärt worden?



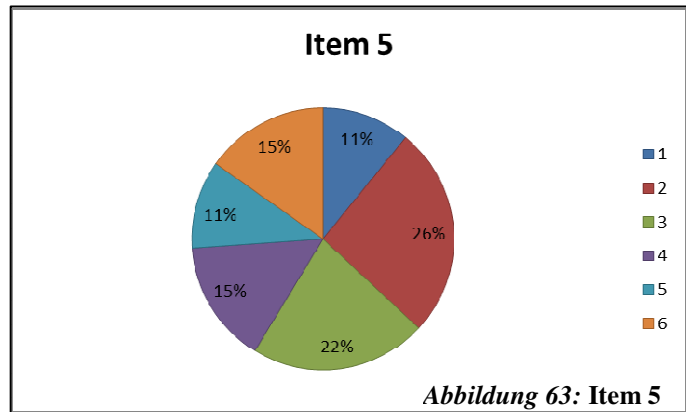
3. Findest du, dass die Übungen dein Leistungsvermögen gesteigert hat?



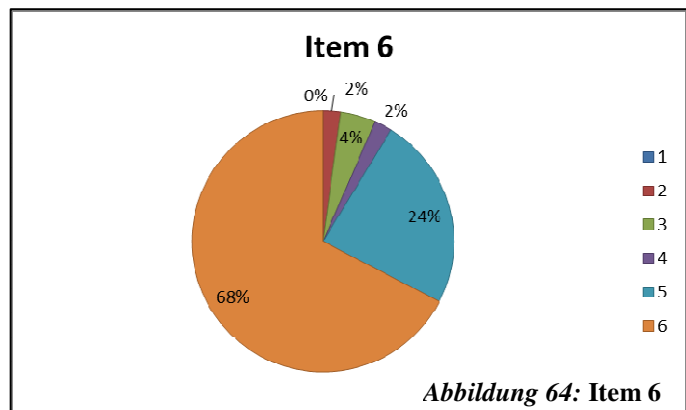
4. Kannst du, nun nach den Übungen, deinen Körper besser wahrnehmen und einzelne Regionen bewusst spüren?



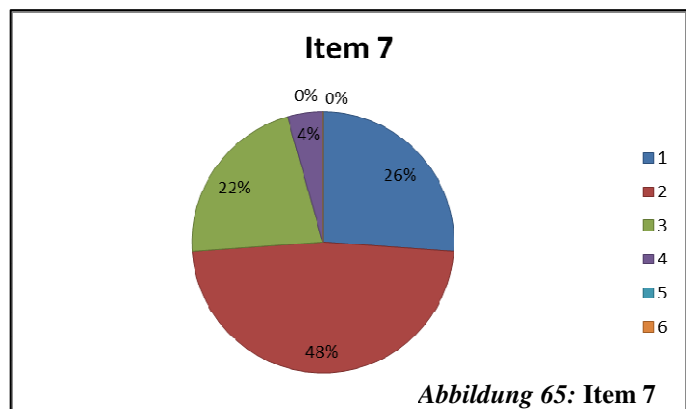
5. Hast du die Übungen regelmäßig im Vereinstraining durchführen können?



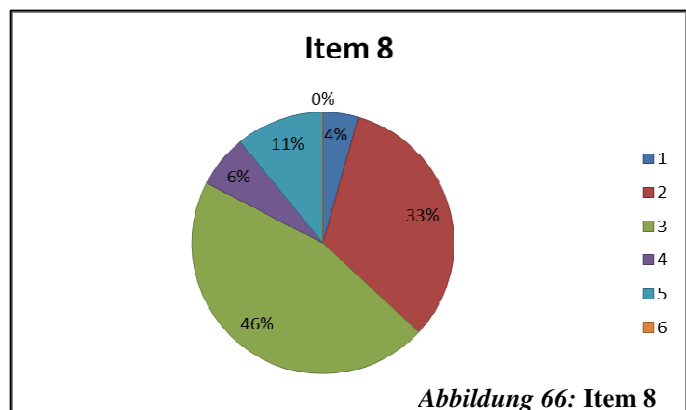
6. Hattest du Schwierigkeiten mit den Übungen?



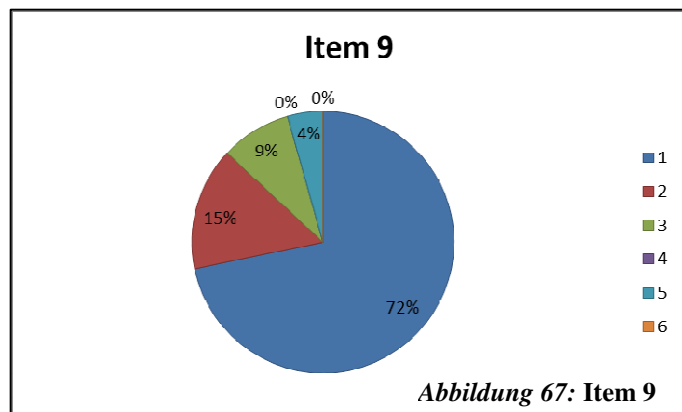
7. Wie schätzt du den Nutzen solcher Übungen für ein Volleyballtraining ein?



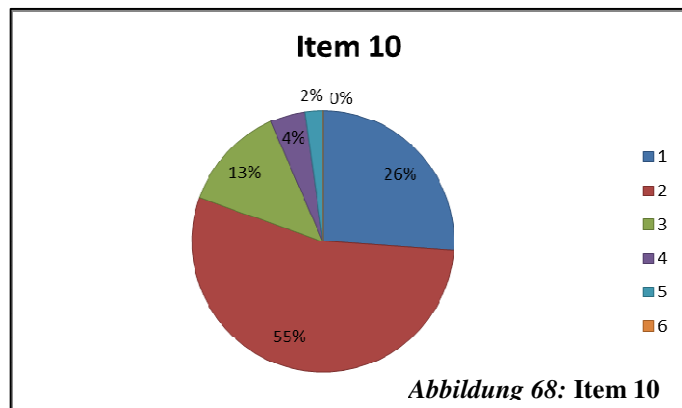
8. Haben sich die Übungen auf dein Wohlbefinden und dein (Körper-) Haltung ausgewirkt?



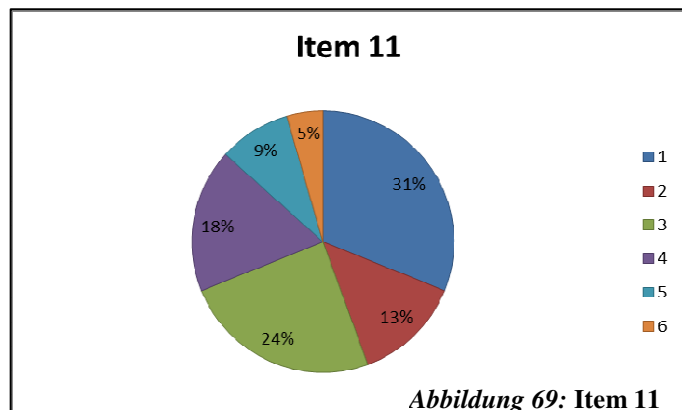
9. Ist für dich der Zeitpunkt der Übungen sinnvoll gewählt worden? Sollte man die Übungen zu Beginn eines Trainings anführen?



10. Hast du die Übungen immer mit maximaler Intensität ausgeführt?



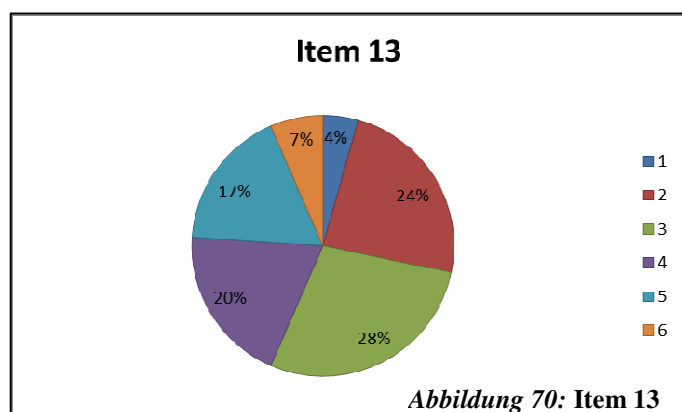
11. Hattest du immer ausreichend Zeit für die Übungen?



12. Hast du die Übungen noch zusätzlich zu der geforderten Anzahl absolviert?

Nein 98% Ja 2%

13. Meinst du, dass sich durch das Training und die Übungen deine Sprunghöhe gesteigert hat?



Anhang 4: Trainingsprotokoll

Trainingsprotokoll

Monat:

Name, Vorname:

Geb. Datum:

Verein:

Jugendtrainer:

Erwachsenentrainer:

Kadertrainer:

Tag, Datum:

Trainingsdauer

(in Std.)

Trainingsart

Jugendtraining (JT),
Erwachsenentraining (ET),
Schul-AG (SA),
Sportunterricht (SU),
Kadertraining (KT)

Trainingsziel

Kraft-Haltung

Koordination

Sprungkraft

Ausdauer

Schnelligkeit

Annahme

Angriff

Abwehr

Block

Aufschalg

K1-Situation

K2-Situation

Trainingsspiel

Sonstiges

Schulsport

Weitkämpfe im Monat

Spiele Erwachsenenliga:

Jugendspiele:

Kaderspiel/-turniere :

Anhang 5: Anthropometrische Daten/Körperfettanalyse

Tabelle 6: Anthropometrische Daten der Untersuchungsteilnehmer

	Prä	Post	Prä	Post	Prä	Post	Prä	Post	Prä	Post
Jhrg.	93/94 (n=12)	93/94 (n=12)	94/95 (n=12)	94/95 (n=12)	95/96 (n=12)	95/96 (n=12)	96/97 (n=12)	96/97 (n=12)	KG (n=12)	KG (n=12)
Größe (cm)										
Mw	184,3	188,9	174,4	174,5	180,4	184	168,8	172,4	172,8	174,3
min.	174,5	176	166,5	165	173	168,5	162	158,5	160,6	162,3
max.	193	202	189,5	185	191	199,5	180,5	183	190,5	190,5
Gewicht (kg)										
Mw	78,7	80,7	68,3	66,9	67,6	71,4	56,3	59	67,2	67,7
min.	61,2	64,1	58,7	51,7	56,6	58,1	44,5	50,8	55,2	56,2
max.	97,2	97,2	78,4	84,8	80,4	84,7	66,7	67	83,0	80,4
BMI (m/kg²)										
Mw	23,1	22,3	22,4	21,8	20,7	21	19,8	18,5	22,48	22,26
min.	19,8	20,7	19,6	19	17,3	20,5	17	20,2	18,7	19,4
max.	28,1	23,8	24,5	24,8	22,7	21,3	22,7	20	27,7	25,8

Tabelle 7: Körperfettanalyse der Untersuchungsteilnehmer

	Prä	Post	Prä	Post	Prä	Post	Prä	Post	Prä	Post
Jhrg.	93/94	93/94	94/95	94/95	95/96	95/96	96/97	96/97	KG	KG
Körperfettanalyse Impedanz [%]										
Mw	12,0	11,0	24,6	26,8	12,4	9,0	22,9	22,3	24,5	23,5
min.	2,0	3,0	16,1	17,5	5,3	3,8	16,4	18,3	17,4	20,3
max.	21,9	19,9	33,0	35,6	19,4	16,0	29,4	25,7	32,3	25,9
Körperfettanalyse Caliper [%]										
Mw	14,1	14,4	24,5	27,0	12,9	12,7	23,7	24,3	26,2	27,2
min.	8,1	10,5	16,8	19,5	8,1	10,5	19,5	19,5	18,0	22,3
max.	20,1	21,2	32,2	34,0	17,7	19,0	27,8	32,2	33,8	29,5

Anhang 6: Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Konditionsfaktoren des Volleyballspielers (aus: BACCHINI 1990, S. 41).	14
Abbildung 2: Der Einfluss von Abschlag- und Netzhöhe auf die Flugbahn und die Flugweite (aus: VOIGT 1986, S. 46).	17
Abbildung 3: Bodenreaktionskraft während eines Strecksprungs (aus: TILP 2004, S.99).	18
Abbildung 4: Darstellung eines Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (aus: GOLLHOFFER & BRUHN 2003, S. 19).	19
Abbildung 5: Der Anlauf zu einem Angriffsschlag (aus: FEIRI ET AL. 2007, S.22). ...	22
Abbildung 6: Angriffsschlag aus dem Hinterfeld (aus: FEIRI ET AL. 2007, S.22).	23
Abbildung 7: Darstellung des Netz- und Blockschnitts (aus: TILP 2004, S.107). ...	24
Abbildung 8: Aufschlag und Angriffsschlag (Quelle: FIVB- http://www.fivb.org/).	28
Abbildung 9: Vereinfachte schematische Darstellung des stabilisierenden Systems (nach: PANJABI 1992, aus: LINDEL 2006, S. 22).	33
Abbildung 10: Schematische Darstellung der Beuger- und Streckerkette des Beines (aus: ROSTOCK 2003, S. 135).	34
Abbildung 11: Schema der beckenaufrichtenden und beckenvorkippenden Muskulatur (aus: KLEE 2001, S. 496)	35
Abbildung 12: Schematische Darstellung des Zustandes einer muskulären Balance und Dysbalance (aus: KLEE 1995A, S. 14)..	40
Abbildung 13: Darstellung der Muskeln mit starker Tendenz zur Abschwächung (aus: MÜLLER 1997, S. 211).	44
Abbildung 14: Die Kraft und ihre verschiedenen Kraftfähigkeiten und Erscheinungsweisen (aus: WEINECK 2000, S. 237).	46
Abbildung 15: Grundübung in Rückenlage.	56
Abbildung 16: Rückenlage mit Anheben des Oberkörpers.	57
Abbildung 17: Grundposition bei gleichzeitigem Anheben eines Beins.	58
Abbildung 18: Grundübung bei gleichzeitigem Anheben beider Beine.	58
Abbildung 19: Die „BOX-Übung“.	59
Abbildung 20: Rückenlage. Training der schrägen Bauchmuskulatur ohne Anheben der Beine.	60
Abbildung 21: Grundposition der Übung in Bauchlage.	61
Abbildung 22: Variation der Übung in Bauchlage (A und B).	63
Abbildung 23: Grundposition im bipeden Stand.	64
Abbildung 24: Variation der Grundposition im bipeden Stand: Zehenspitzenstand.	65
Abbildung 25: Variation im bipeden Stand: Bein Anheben.	65
Abbildung 26: Variation im bipeden Stand: Bein und Arm Anheben.	66
Abbildung 27: Kategorien der Belastbarkeit (aus: FRÖHNER 2007, S. 31 nach FRÖHNER 1993, MARTIN & NICOLAUS 1998) und Belastbarkeit und biologische Funktionssysteme (nach: FRÖHNER 2007, S. 33).	72
Abbildung 28: Grafische Darstellung des Versuchsdesigns	93

Abbildung 29: Darstellung der Achsen der Kraftmessplatte im dreidimensionalen Raum (nach: AMTI 2010).	95
Abbildung 30: Versuchsaufbau: Eichwürfel, Proband mit Markern, Strahler- und Kameraposition.	97
Abbildung 31: Aufbau in der Sporthalle: Netzanlage (a), Kamera und Strahler (b).	100
Abbildung 32: Aufbau des Feldversuchs.	101
Abbildung 33: Messplatte der Abdominometriemethode nach Berschin/Sommer 2007.	105
Abbildung 34: Durchführung der Messung mit den Kaderathleten.	107
Abbildung 35: Auslösewinkel und Bewertung I nach Berschin/Sommer.	107
Abbildung 36: Auslösewinkel und Bewertung II nach Berschin/Sommer.	108
Abbildung 37: Trainingsprotokoll	110
Abbildung 38: Prä- und Posttest der Rumpfkraftuntersuchung der Versuchsgruppen mit Standardfehler.	113
Abbildung 39: Vergleich der Rumpfkraft im Prä- und Posttest der Versuchs- und Kontrollgruppe.	114
Abbildung 40: Prä- und Posttest der Sprunghöhenmessung der Versuchsgruppen.	116
Abbildung 41: Vergleich der Sprunghöhe der Versuchs- und Kontrollgruppe im Prä- und Posttest.	117
Abbildung 42: Prä- und Posttest der Stiffnessmessung der Versuchsgruppen.	118
Abbildung 43: Vergleich der Stiffnessmessung der Versuchs- und Kontrollgruppe im Prä- und Posttest.	119
Abbildung 44: Prä- und Posttest der <i>Average of Displacement Y</i> der Versuchsgruppen.	120
Abbildung 45: Prä- und Posttest der <i>Average of Displacement X</i> der Versuchsgruppen.	122
Abbildung 46: Vergleich Avg. of Displ. im Prä- und Posttest der Versuchs- und Kontrollgruppe.	123
Abbildung 47: Prä- und Posttest der 95% Ellipse der Versuchsgruppen.	124
Abbildung 48: Vergleich der 95 % Ellipse im Prä- und Posttest der Versuchs- und Kontrollgruppe.	125
Abbildung 49: Gesamtfehlerpunkte beim Counter Movement Jump der Versuchsgruppen.	126
Abbildung 50: Gesamtfehlerpunkte beim <i>Counter Movement Jump</i> der Kontrollgruppe.	128
Abbildung 51: Gesamtfehlerpunkte beim diagonalen Angriffsschlag der Versuchsgruppen.	129
Abbildung 52: Gesamtfehlerpunkte beim diagonalen Angriffsschlag der Kontrollgruppe.	131
Abbildung 53: Grafische Darstellung der Antworten der Versuchsgruppe in Prozent zu Item 3.	133
Abbildung 54: Grafische Darstellung der Antworten der Versuchsgruppe in Prozent zu Item 7.	133

Abbildung 55: Grafische Darstellung der Antworten der Versuchsgruppe in Prozent zu Item 9.	134
Abbildung 56: Grafische Darstellung der Antworten der Versuchsgruppe in Prozent zu Item 10.	134
Abbildung 58: Durch Ausweichbewegungen bedingte Erhöhung der Gelenkkräfte in der Frontalebene (aus: VAN HUSEN 2005, S. 120).	155
Abbildung 59: Beispiel einer typischen, vertikalen Bodenreaktionskurve bei der Landung nach einem Block (mod. nach STACOFF ET AL., 1987, S. 461).	157
Abbildung 59: Item 1	198
Abbildung 60: Item 2	198
Abbildung 61: Item 3	198
Abbildung 62: Item 4	198
Abbildung 63: Item 5	199
Abbildung 64: Item 6	199
Abbildung 65: Item 7	199
Abbildung 66: Item 8	199
Abbildung 67: Item 9	200
Abbildung 68: Item 10	200
Abbildung 69: Item 11	200
Abbildung 70: Item 13	200

Anhang 7: Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verteilungsmuster der in der Muskulatur vorkommenden Fasertypen (nach: LINDEL 2006, S.19).....	41
Tabelle 2: Basis der Marburger Haltungsschule (mod. nach BERSCHIN 2011, S. 147)	49
Tabelle 3: Untersuchungskollektiv	93
Tabelle 4: Ausgewählte anthropometrische Punkte	96
Tabelle 5: Verwendete Kameraeinstellungen.....	98
Tabelle 6: Anthropometrische Daten der Untersuchungsteilnehmer	202
Tabelle 7: Körperfettanalyse der Untersuchungsteilnehmer	202

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Doktorarbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ich habe bisher an keiner anderen in- und ausländischen Fakultät ein Gesuch zur Erlangung einer Promotion eingereicht oder die vorliegende Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Ort, Datum

Unterschrift